Pam. 98

18

20255
Com
35

RÉSULTATS

DES

CAMPAGNES SCIENTIFIQUES

DU

PRINCE DE MONACO

BUREAU OF FISHERIES
29708
MAR 6 - 1918
LIBRARY

Ce Fascicule a été publié et le dépôt fait au Gouvernement à Monaco
le 5 avril 1905

RÉSULTATS

DES

CAMPAGNES SCIENTIFIQUES

ACCOMPLIES SUR SON YACHT

PAR

ALBERT Ier

PRINCE SOUVERAIN DE MONACO

PUBLIÉS SOUS SA DIRECTION

AVEC LE CONCOURS DE

M. JULES RICHARD

Docteur ès-sciences, chargé des Travaux zoologiques à bord

FASCICULE XXIX

Mémoires océanographiques. — (Première série)

Par J. THOULET

AVEC NEUF PLANCHES

IMPRIMERIE DE MONACO

—

1905

483

Q115
C1
V.29-30

MÉMOIRES OCÉANOGRAPHIQUES

PREMIÈRE SÉRIE

PAR

J. THOULET

MÉMOIRES OCÉANOGRAPHIQUES

PREMIÈRE SÉRIE

PAR

J. THOULET

I. — EXPÉRIENCES SUR LA PIERRE PONCE

(Planches I et II)

Les expériences qui suivent m'occupent depuis plusieurs années et la plupart d'entre elles mériteraient à juste titre d'être appelées des expériences de durée. Pendant que je les exécutais, il m'est arrivé, pour quelques unes d'entre elles, de modifier la façon dont j'opérais de manière à parvenir avec plus de rapidité ou de précision au résultat que j'avais en vue, de sorte que, si aujourd'hui j'avais à les recommencer, il est probable qu'il m'arriverait souvent de m'y prendre d'une manière différente. Cependant, comme telles qu'elles sont, elles m'ont apporté leurs conclusions, je vais les exposer selon leur ordre logique sans m'astreindre à leur conserver leur ordre chronologique qui est sans intérêt.

Ces expériences avaient pour objet de découvrir les conditions de genèse des pierres ponces dont les fines esquilles se trouvent dans beaucoup de fonds marins et dont le chalut ramène assez fréquemment de gros fragments déposés sur le sol océanique. Je cherchais aussi à élucider les relations mutuelles existant entre les roches ou minéraux que Murray nomme ponce liparitique, variété la plus commune, ponce basaltique, obsidienne ou sidéromélane, scorie volcanique et palagonite. Ces différents minéraux se rencontrent en abondance dans les fonds récoltés au voisinage des Açores par la *PRINCESSE-ALICE* et dont S. A. S. le Prince de Monaco a bien voulu me confier l'étude.

L'aspect de la pierre ponce ordinaire est caractéristique et il suffit d'en avoir examiné une seule fois des fragments au microscope pour la reconnaître dans toutes les circonstances. Elle est particulièrement remarquable par sa structure en fibres allongées, courbes, comme étirées et de couleur grise. Les caractères physiques en sont plus compliqués.

Un fragment de pierre ponce parfaitement sec pèse un poids P, mais comme il contient dans son intérieur des vacuoles ou pores remplis d'air, il possède deux volumes, savoir :

1° Son *Volume* extérieur ou *apparent* V_a, c'est-à-dire celui qui apparaît immédiatement à l'œil et qui comprend l'espace occupé par la matière solide constituant les parois des vacuoles et par les vacuoles elles-mêmes.

2° Le *Volume réel* V_r, de la matière solide seule, tel qu'on l'obtiendrait en pulvérisant le fragment en poudre impalpable dont les grains infiniment petits, examinés aux plus forts grossissements du microscope, ne laisseraient pas apercevoir la moindre vacuole.

Un fragment de ponce aura donc deux densités, l'une dite *Densité apparente* et représentée par l'expression $\frac{P}{V_a}$, l'autre sa *Densité réelle* représentée par l'expression $\frac{P}{V_r}$.

Si l'on dépose un fragment de ponce à la surface de l'eau, il absorbe plus ou moins rapidement le liquide qui pénètre dans ses vacuoles. Cependant il commence par flotter en partie hors de l'eau et, pour l'obliger à s'immerger complètement, il faut appuyer sur lui avec une force d'autant plus grande, ou le surcharger d'un poids d'autant plus lourd que le volume de ses pores remplis d'air est plus considérable par rapport à la masse apparente. On nomme ce poids additionnel *Résistance à l'immersion* à un moment déterminé. La densité de la roche reste inférieure à l'unité. L'imbibition de l'eau augmentant avec la durée de l'immersion, la résistance diminue jusqu'au moment où le poids d'eau ayant pénétré dans les pores, sera tel que le fragment, complètement immergé, flottera exactement dans le liquide sans y monter ni descendre. Ce poids d'eau pour 100 en poids de la ponce sèche est la *Limite d'immersion* et, à ce moment, la densité du fragment est égale à l'unité.

L'imbibition se continuant, le poids de l'eau absorbée augmentera toujours et le fragment, s'alourdissant de plus en plus, tombera de plus en plus rapidement vers le fond jusqu'au moment où tous les pores étant remplis, son poids total, partie solide et vacuoles pleines d'eau, sera maximum. Le poids d'eau H, remplissant alors la totalité des pores, rapporté à 100 en poids du minéral sec, mesure la *Porosité*.

Ces diverses variables sont mesurables.

Le poids P de la ponce sèche s'évalue à la balance, à la manière ordinaire, après que le fragment a été chauffé dans l'étuve à 100 degrés suffisamment longtemps pour que son poids ne varie plus et après complet refroidissement.

La résistance à l'immersion se mesure de la façon suivante :

On fabrique avec du fil de laiton très fin et passé à la flamme afin de lui enlever

son élasticité, un système de suspension composé de trois fils se réunissant en haut pour former un anneau auquel on accroche une ampoule de verre servant de flotteur, terminée elle-même d'un côté par un crochet en verre et de l'autre par une pointe (Pl. 1). En bas, les fils de laiton, d'abord tordus, s'écartent ensuite pour supporter une petite nacelle très légère. Je me suis servi avec avantage, pour la fabriquer, de petites balles en celluloïde coupées par le milieu.

On place le tout dans un verre rempli d'eau et on ajoute des grains de plomb dans la nacelle jusqu'à ce que le système soit en flottaison parfaite, c'est-à-dire que la pointe supérieure de l'ampoule affleure la surface du liquide sans toutefois que la nacelle lestée touche le fond. On pèse la tare.

On entoure le morceau de ponce avec les fils métalliques, on plonge de nouveau dans l'eau, on ajoute du plomb dans la nacelle jusqu'à nouvelle flottaison. Comme il se fait une absorption d'eau proportionnelle au temps, surtout au début de l'expérience, je n'établis jamais la première flottaison qu'exactement après une demi-heure d'immersion. On pèse le plomb, on retranche le poids de la tare, on ramène à 100° et l'on a la surcharge ou résistance à l'immersion.

Pour mesurer le volume apparent V_a, on se sert d'un flacon dont le fond a été supprimé en le frottant sur une plaque de fonte avec du grès mouillé. Son goulot est fermé par un bouchon traversé par un tube deux fois recourbé et effilé à son extrémité. Après avoir pesé sec le fragment de ponce dont on veut avoir le volume, on le place dans un vase plein d'eau sous la cloche pneumatique et on fait le vide jusqu'à ce qu'il tombe au fond et soit ainsi convenablement imbibé. On introduit ensuite dans le flacon une rondelle ou une bande de plomb longue et étroite; on remplit d'eau qu'on laisse écouler jusqu'à refus par le tube; on retire la bande de plomb, on en entoure le fragment de ponce afin de l'entraîner au fond au cas où il manifesterait une tendance à remonter. On place le tout dans l'appareil; une nouvelle quantité d'eau s'écoule; on la recueille dans un vase taré et on la pèse ou, si son volume est trop considérable, on la reçoit dans une éprouvette graduée et on la mesure; elle représente le volume apparent de la ponce.

Pour avoir la porosité Π ou le poids d'eau maximum absorbable par un morceau de ponce, on pèse celui-ci sec, puis on le place dans l'eau sous la cloche pneumatique. De temps en temps on le retire, on l'essuie et on le pèse promptement. On peut avoir avantage à installer le fragment sur deux petits bâtons en croix au-dessus d'un récipient rempli d'eau et à faire ensuite le vide pendant un temps suffisant; on secoue; le fragment tombe dans l'eau et l'absorbe alors beaucoup plus rapidement. Néanmoins je n'ai jamais pu réussir ainsi à déterminer une porosité d'une manière satisfaisante. On parvient beaucoup plus promptement à obtenir cette valeur en pesant le fragment sec, ce qui fournit le poids P. On mesure son volume apparent V_a. On en détache une esquille qu'on introduit dans un tube fin percé qu'on plonge dans de la liqueur d'iodures. On établit par additions d'eau la flottaison parfaite et on prend, à l'aide de la balance de Mohr, la densité de la liqueur qui est exactement la densité réelle δ

de la ponce. Or $\delta = \frac{P}{V_r}$, d'où $V_r = \frac{P}{\delta}$ et la porosité est représentée par l'expression $V_a - V_r$.

On objectera avec raison que la ponce étant une pâte feldspathique plus ou moins mélangée de grains de magnétite, un fragment a peu de chances d'être absolument homogène dans toutes ses parties, de sorte que l'esquille choisie pour mesurer la densité est susceptible de posséder une constitution notablement différente de la constitution et par conséquent de la densité du morceau complet. Or les auteurs admettent que la densité réelle de la ponce varie entre 2,2 et 2,5. Une densité prise par moi, avec toutes les précautions possibles, par la méthode du flacon sur un échantillon réduit en grains de la grosseur de grains de millet, a fourni la valeur 2,407. En adoptant cette valeur 2,4 pour δ, la porosité serait donc représentée d'une manière très approchée, sur un échantillon quelconque, par l'expression $V_a - \frac{P}{2,4}$ qui rapportée au poids 100 de l'échantillon donne l'expression $\Pi = \frac{(2,4\ V_a - P)\ 100}{2,4\ P}$.

Je serais porté à croire que la valeur de la porosité obtenue de cette façon, est un peu faible car la densité moyenne 2,2 — 2,5 admise pour la pierre ponce composée de feldspath de densité variant entre 2,5 et 2,7 et de magnétite dont la densité atteint 5, est elle-même faible, ce qui me semble provenir de ce que les échantillons expérimentés n'ont pas été broyés suffisamment fin — ce qui est d'ailleurs impossible, — et contenaient encore des vacuoles microscopiques remplies d'air.

Expérience I

On a pris 8 fragments de ponce ordinaire de Lipari dont les plus grosses rugosités ont été abattues à la râpe. On a mesuré, comme il est dit ci-dessus, leur poids secs et leur volume apparent. On les a laissés 96 heures dans le vide, plongés dans l'eau, et on les a ensuite pesés de manière à obtenir le poids d'eau qu'ils avaient alors absorbée. Ce poids ramené à 100 du minéral, en poids, a donné la porosité au bout de 96 heures de vide ou, en d'autres termes, le volume des pores remplis par l'eau dans les conditions de l'expérience. D'autre part, en adoptant la formule $\Pi = \frac{(2,4\ V_a - P)\ 100}{2,24\ P}$, on a calculé la porosité vraie de chaque morceau. Les résultats sont portés sur le tableau suivant.

Numéros	Poids sec P	Volume appt Va	Porosité après 96 heures %	Porosité vraie	Por. 96 h. / Por. vraie
1	75.55g	96.01cmcb	53.1	85.4	0.62
2	44.70	59.72	34.4	91.8	0.37
3	23.46	32.02	36.6	95.5	0.38
4	15.46	21.39	34.4	96.4	0.35
5	10.79	14.24	26.1	89.8	0.29
6	6.09	8.53	29.7	97.7	0.30
7	1.35	1.90	37.3	104.4	0.35
8	0.80	0.96	29.5	57.2	0.51

L'inspection du tableau montre combien la texture des ponces est variée. Véritables éponges minérales, elles sont bourrées de vacuoles communiquant avec l'extérieur par des pertuis de dimensions diverses et elles-mêmes sont de dimensions si variables, que certains fragments (n° 7) absorbent plus que leur poids d'eau. Cependant, le plus souvent, le poids d'eau absorbé demeure légèrement inférieur au poids du fragment sec. Les vacuoles sont tantôt largement ouvertes, d'autres fois presque fermées, d'autres fois encore entièrement closes quoique le cas, ainsi que l'avait déjà remarqué Bischof, soit le moins fréquent. On voit en outre que l'imbibition s'effectue à peu près aussi rapidement dans les petits et les gros fragments.

Expérience II

De la ponce de Lipari a été pilée et les fragments, petits et gros, ont été classés par catégories à l'aide de tamisages à travers des tamis calibrés comme ceux qui servent pour le classement des grains de sable dans l'analyse mécanique des fonds marins. Chaque catégorie a été mise isolément dans un flacon rempli d'eau douce et laissée en contact avec l'eau 24 heures pendant lesquelles on a agité à diverses reprises. Après ce temps, on a séparé les grains encore flottants des grains tombés; on a séché les uns et les autres à 100 degrés, on a pesé et pris le pourcentage des grains tombés.

Tamis	Diam. mm.	Désignation	Pourcentage trouvé	Tamis	Diam. mm.	Désignation	Pourcentage trouvé
fr. 3 arrêté 6	6.55	Gravier moyen	7	fr. 60 arrêté 70	0.41	Sable fin	100
» 6 » 10	3.85	Gravier fin	56	» 70 » 80	0.36	—	100
» 10 » 20	1.92	Sable gros	85	» 80 » 90	0.31	—	100
» 20 » 30	1.07	—	100	» 90 » 100	0.28	—	100
» 30 » 40	0.77	Sable moyen	100	» 100 » 200	0.13	Sable très fin	100
» 40 » 50	0.59	—	100	» 200	inf. à 0.04	Fins-fins	100
» 50 » 60	0.48	—	100				

de la ponce. Or $\delta = \frac{P}{V_r}$, d'où $V_r = \frac{P}{\delta}$ et la porosité est représentée par l'expression $V_a - V_r$.

On objectera avec raison que la ponce étant une pâte feldspathique plus ou moins mélangée de grains de magnétite, un fragment a peu de chances d'être absolument homogène dans toutes ses parties, de sorte que l'esquille choisie pour mesurer la densité est susceptible de posséder une constitution notablement différente de la constitution et par conséquent de la densité du morceau complet. Or les auteurs admettent que la densité réelle de la ponce varie entre 2,2 et 2,5. Une densité prise par moi, avec toutes les précautions possibles, par la méthode du flacon sur un échantillon réduit en grains de la grosseur de grains de millet, a fourni la valeur 2,407. En adoptant cette valeur 2,4 pour δ, la porosité serait donc représentée d'une manière très approchée, sur un échantillon quelconque, par l'expression $V_a - \frac{P}{2,4}$ qui rapportée au poids 100 de l'échantillon donne l'expression $\Pi = \frac{(2,4\ V_a - P)\ 100}{2,4\ P}$.

Je serais porté à croire que la valeur de la porosité obtenue de cette façon, est un peu faible car la densité moyenne 2,2 — 2,5 admise pour la pierre ponce composée de feldspath de densité variant entre 2,5 et 2,7 et de magnétite dont la densité atteint 5, est elle-même faible, ce qui me semble provenir de ce que les échantillons expérimentés n'ont pas été broyés suffisamment fin — ce qui est d'ailleurs impossible, — et contenaient encore des vacuoles microscopiques remplies d'air.

Expérience I

On a pris 8 fragments de ponce ordinaire de Lipari dont les plus grosses rugosités ont été abattues à la râpe. On a mesuré, comme il est dit ci-dessus, leur poids secs et leur volume apparent. On les a laissés 96 heures dans le vide, plongés dans l'eau, et on les a ensuite pesés de manière à obtenir le poids d'eau qu'ils avaient alors absorbée. Ce poids ramené à 100 du minéral, en poids, a donné la porosité au bout de 96 heures de vide ou, en d'autres termes, le volume des pores remplis par l'eau dans les conditions de l'expérience. D'autre part, en adoptant la formule $\Pi = \frac{(2,4\ V_a - P)\ 100}{2,24\ P}$, on a calculé la porosité vraie de chaque morceau. Les résultats sont portés sur le tableau suivant.

Numéros	Poids sec P	Volume appt Va	Porosité après 96 heures %	Porosité vraie	Por. 96 h. / Por. vraie
1	75.55g	96.01cmcb	53.1	85.4	0.62
2	44.70	59.72	34.4	91.8	0.37
3	23.46	32.02	36.6	95.5	0.38
4	15.46	21.39	34.4	96.4	0.35
5	10.79	14.24	26.1	89.8	0.29
6	6.09	8.53	29.7	97.7	0.30
7	1.35	1.90	37.3	104.4	0.35
8	0.80	0.96	29.5	57.2	0.51

L'inspection du tableau montre combien la texture des ponces est variée. Véritables éponges minérales, elles sont bourrées de vacuoles communiquant avec l'extérieur par des pertuis de dimensions diverses et elles-mêmes sont de dimensions si variables, que certains fragments (n° 7) absorbent plus que leur poids d'eau. Cependant, le plus souvent, le poids d'eau absorbé demeure légèrement inférieur au poids du fragment sec. Les vacuoles sont tantôt largement ouvertes, d'autres fois presque fermées, d'autres fois encore entièrement closes quoique le cas, ainsi que l'avait déjà remarqué Bischof, soit le moins fréquent. On voit en outre que l'imbibition s'effectue à peu près aussi rapidement dans les petits et les gros fragments.

Expérience II

De la ponce de Lipari a été pilée et les fragments, petits et gros, ont été classés par catégories à l'aide de tamisages à travers des tamis calibrés comme ceux qui servent pour le classement des grains de sable dans l'analyse mécanique des fonds marins. Chaque catégorie a été mise isolément dans un flacon rempli d'eau douce et laissée en contact avec l'eau 24 heures pendant lesquelles on a agité à diverses reprises. Après ce temps, on a séparé les grains encore flottants des grains tombés; on a séché les uns et les autres à 100 degrés, on a pesé et pris le pourcentage des grains tombés.

Tamis	Diam. mm.	Désignation	Pourcentage trouvé	Tamis	Diam. mm.	Désignation	Pourcentage trouvé
fr. 3 arrêté 6	6.55	Gravier moyen	7	fr. 60 arrêté 70	0.41	Sable fin	100
» 6 » 10	3.85	Gravier fin	56	» 70 » 80	0.36	—	100
» 10 » 20	1.92	Sable gros	85	» 80 » 90	0.31	—	100
» 20 » 30	1.07	—	100	» 90 » 100	0.28	—	100
» 30 » 40	0.77	Sable moyen	100	» 100 » 200	0.13	Sable très fin	100
» 40 » 50	0.59	—	100	» 200	inf. à 0.04	Fins-fins	100
» 50 » 60	0.48	—	100				

Les chiffres du tableau montrent que la rapidité de chute dans la mer, de grains ponceux imbibés d'air, dépend de la grosseur de ces grains.

Par conséquent, sur le fond des mers, les grains ponceux seront très abondants quand leur diamètre sera inférieur à 1.07 mm environ; entre 1.07 et 3.85 mm de diamètre, ils commenceront à devenir rares; avec un diamètre de 6.55 mm, ils seront très rares. Plus gros, ils ne seront plus que des exceptions et c'est à eux que s'appliquera le nom de fragments. Ils ont alors la dimension d'un gros noyau de cerise.

Expérience III

Dans deux flacons à large ouverture, d'une contenance d'environ un litre et demi, on a versé de l'eau salée ayant une densité de 1,0244 à 21°, c'est-à-dire à peu près celle de l'eau de mer. Dans chacun d'eux on a introduit des fragments de pierre ponce arrondis à la lime, séchés et pesés.

Flacon I			*Flacon II*		
N^os^ 2.....	poids	15.014 g	N^os^ 1.....	poids	15.214 g
» 4.....	—	3.567	» 3.....	—	5.861
» 6.....	—	1.016	» 5.....	—	1.906
» 8.....	—	0.215	» 7.....	—	0.401
» 10.....	—	0.010	» 9.....	—	0.106

Les flacons ont été fermés par un large bouchon recouvert de toile et percé d'un trou par lequel passait un tube de verre rempli d'ouate. L'intérieur restait donc en communication avec l'air quoique protégé contre toute invasion de poussière. L'expérience a été commencée le 11 octobre 1900. Les flacons ont été abandonnés dans le laboratoire et secoués de temps en temps.

Le tableau suivant donne la date de chute des divers fragments.

16	octobre	1900	après	6	jours,	le n°	9
18	»	»	»	8	»	»	8
10	décembre	»	»	60	»	»	7
17	»	»	»	67	»	»	10
15	août	1903	»	34	mois	»	6

Au mois de juin 1904, c'est-à-dire après 44 mois, plus de trois ans, les fragments n^os^ 5, 4, 3, 2, 1 restent flottants.

Les fragments de ponce abandonnés à eux-mêmes au contact de l'air, dans l'eau, s'imbibent donc très lentement car après 3 ans environ, le plus gros fragment tombé

pesé sec, ne pesait que 1.016 g et avait la dimension d'une noisette. La chute dépend moins du poids que de la porosité des fragments. En effet, le n° 10 qui pèse le moins (0.010 g) n'est tombé qu'au bout de 67 jours et après des fragments pesant beaucoup plus que lui. Avec cette restriction, on peut cependant dire que, d'une façon générale, la durée de la flottaison à la surface est d'autant plus longue que les fragments de ponce sont plus gros.

Expérience IV

Je me suis proposé de reconnaître si l'état de turbidité de l'eau possédait une influence sur le délai d'immersion de la ponce, c'est-à-dire sur le moment où le fragment, flottant d'abord à la surface, plonge entièrement dans l'eau et tombe au fond du vase qui la contient.

Cette recherche a fait l'objet de deux notes à l'Académie des Sciences [1].

Le premier essai a consisté à placer des fragments de pierre ponce, l'une pesant 4.285 g et 4 autres pesant ensemble 3.225 g dans de l'eau pure sous la cloche pneumatique jusqu'à ce qu'ils soient complètement imbibés et tombent au fond. On les plongeait ensuite dans de l'eau contenant en suspension une grande quantité d'argile de Vanves et on les y laissait pendant 7 jours. Ils étaient ensuite retirés de l'eau, lavés pendant 10 heures dans l'eau courante, conservés pendant 3 jours dans de l'eau pure fréquemment renouvelée, séchés à 120 degrés et pesés. On constatait alors que la ponce avait fixé environ 5 % de son poids d'argile. Il en est de même de tous les corps poreux, charbons de bois ou vieilles coquilles perforées si abondantes sur certains fonds côtiers.

Dans le second essai, 6 fragments de ponce, deux gros, deux moyens et deux petits, de poids sensiblement égaux, deux à deux, ont été répartis, un gros, un moyen et un petit ensemble, dans deux flacons, l'un rempli d'eau pure, l'autre d'eau chargée d'une quantité abondante d'argile de Vanves car on avait mélangé 8.082 g d'argile à 350 cmcb d'eau. On a alors reconnu que les fragments tombaient plus promptement dans l'eau boueuse que dans l'eau pure. Le rapport approximatif des délais de chute était de 1 à 2.5.

Ce second essai donne lieu à une observation.

L'eau employée possédait un tel degré de turbidité qu'elle se trouvait dans des conditions extra-naturelles. Evidemment la loi énoncée, but spécial de l'essai, est vraie, mais dans la nature, le cas d'une eau aussi boueuse est si rare, s'il se rencontre jamais, que dans la mer et au point de vue de la chute des corps poreux flottants, on ne saurait en faire état.

[1] C. R. Ac. Sc. T. 130, p. 1639, 11 juin 1900 et T. 131, 15 octobre 1900.

La chute dans l'eau pure qui s'est fait attendre 86 jours pour le gros morceau, et 55 jours pour le moyen, est exceptionnelle. Le gros morceau avait la dimension d'une noisette tandis qu'un autre morceau à peu près de même poids (Essai III), flottait encore après 3 ans. Il aurait été intéressant de mesurer la porosité et le poids limite d'immersion de ces fragments provenant tous du même morceau et que je ne possède malheureusement plus. Lorsque l'expérience a été faite, elle avait en vue un but spécial qu'elle a d'ailleurs atteint, la fixation des argiles en suspension dans l'eau par les corps poreux présentant une surface considérable. Dans le cas actuel, le but est si différent que je n'ai pas cru devoir reprendre des recherches qui exigent un temps aussi considérable.

Expérience V

Pendant la campagne de la *Princesse-Alice* dans le golfe de Gascogne, en 1903, des morceaux de pierre ponce de la grosseur du poing ont été attachés au fil de sonde après avoir été enveloppés dans un chiffon de toile à voiles, et envoyés à diverses profondeurs. Ils ne séjournaient jamais dans l'eau, qu'une heure au plus, durée maximum d'un sondage profond ordinaire. Ausssitôt après la remontée, le morceau était jeté dans un seau d'eau de mer et on observait si alors il enfonçait ou flottait.

profondeur	10	mètres	.....	flotte
—	120	—	.....	—
—	540	—	.....	—
—	740	—	.....	—
—	800	—	.....	tombe
—	4780	—	.....	—

Le morceau envoyé à 800 mètres avait servi la veille pour 740 mètres et était encore mouillé.

La ponce semblerait donc tomber au moins après 750 m, c'est-à-dire après avoir subi une compression de 75 atmosphères. Ces expériences qui seraient à compléter au moins par des pesées aussi exactes qu'on peut les faire à bord, des poids d'eau absorbée, montrent l'influence que possède la pression sur le délai de chute mais, dans les conditions ordinaires, pour des fragments flottant à la surface, cette influence est absolument négligeable. Elle agit évidemment en faisant pénétrer de force l'eau dans les pores de la ponce à travers les interstices et l'on a ainsi une notion sur la finesse de ceux-ci.

Expérience VI

Cette expérience avait pour but de reconnaître si le fait d'être entièrement plongé dans l'eau avait une influence sur le délai de chute d'un fragment de ponce et en même temps, par une mesure continue de la résistance à l'immersion, d'évaluer en temps, la marche de l'absorption de l'eau par ce fragment.

Un fragment de ponce pesant 82, 28 g (Pl. 1, courbe I), ayant un volume apparent de 119,0 cmcb a été maintenu de force entièrement plongé dans l'eau au moyen de l'appareil à mesurer la résistance à l'immersion préalablement taré. A des intervalles de temps déterminés et tandis que le fragment, aussitôt après une mesure, continuait à s'imbiber d'eau et tombait sur le fond, on rétablissait ainsi qu'il a été dit, en enlevant des grains de plomb, l'état de flottaison parfaite. La résistance à l'immersion était obtenue en centièmes par l'application de la formule,

$$\frac{\text{poids nécessaire pour la flottaison parfaite} \times 100}{\text{poids du fragment sec}}$$

L'expérience a été commencée le 16 novembre 1903; la marche de l'imbibition a été la suivante :

après	1 heure	Résist.	33.1	après	14 jours	Résist.	20.6
»	2 »	»	31.9	»	24 »	»	17.7
»	5 »	»	31.0	»	30 »	»	16.0
»	7 »	»	30.8	»	49 »	»	10.4
»	1 jour.....	»	28.3	»	64 »	»	10.2
»	3 »	»	26.5	»	84 »	»	9.1
»	5 »	»	24.2	»	119 »	»	6.2
»	7 »	»	22.3	»	156 »	»	5.5
»	9 »	»	21.7	»	176 »	»	4.4

Après 176 jours d'immersion complète forcée, l'échantillon pesait 116.070 g; il avait donc absorbé 33,793 g d'eau soit 41 %. Sa charge limite d'immersion aurait été atteinte après 14 mois environ.

Un *même* morceau de ponce a été scié en deux parties A et B dont les caractéristiques étaient les suivantes :

A (Pl. 1, courbe II). Poids sec = 44, 43 g — volume apparent = 63, 5 cmcb.
B (Pl. 1, courbe III). Poids sec = 31, 14 g — volume apparent = 57, 5 cmcb.

Le premier fragment (II) a été simplement déposé à la surface de l'eau et, à certains intervalles de temps, on mesurait sa résistance à l'immersion et on le laissait de nouvau flotter librement.

après	0 jour	Résist. 23.8	après	60 jours	Résist. 1.4
»	9 »	» 13.4	»	81 »	Immersion complète.
»	44 »	» 1.9			

Après 101 jours d'immersion complète, l'absorption d'eau était de 18, 44 g soit 41 % c'est-à-dire exactement le même pourcentage que le fragment précédent d'un poids à peu près double.

Le second fragment (III) a été maintenu dans l'eau d'une manière continue et l'on mesurait, comme sur le premier, sa résistance à l'immersion.

après	0 jour	Résist. 65.8	après	60 jours	Résist. 39.3
»	9 »	» 53.4	»	81 »	» 36.8
»	44 »	» 40.1	»	101 »	» 33.4

A ce moment, son absorption d'eau était de 16, 36 g soit 22 % et, abandonné à lui-même, il flottait encore à la surface. La rapidité de l'absorption est marquée par les courbes II et III de la Pl. 1; autant qu'on en puisse juger d'après une expérience de 101 jours seulement, le second fragment n'aurait guère atteint sa limite d'immersion qu'au bout de 3 à 4 ans.

Cette expérience est assez caractéristique par ce fait que les deux fragments A et B appartenaient au même morceau de ponce. Elle montre que le temps nécessaire pour s'immerger complètement dans l'eau, varie considérablement d'un échantillon à un autre échantillon ou, en d'autres termes, combien la porosité est inégalement répartie dans les diverses portions d'un même fragment. Elle prouve ensuite combien peut être long le temps nécessaire à certains échantillons pour gagner le fond, surtout dans la mer dont l'eau a une densité plus forte que celle de l'eau douce avec laquelle ont été faites les expériences. De plus, il y a lieu de faire remarquer que l'échantillon complètement immergé flotte encore à la surface et qu'il lui faut encore un délai pour arriver sur le fond. J'ai peine à croire qu'un fragment de ponce susceptible d'errer aussi longtemps, ne finisse pas par rencontrer une terre et, vu sa structure si peu capable de lui permettre de résister aux frottements violents et aux chocs, n'y soit rapidement réduit en poussière tellement fine qu'il n'en soit complètement anéanti.

Une autre considération est que le fait d'être immergé entièrement ou seulement partiellement, ne semble pas avoir une influence importante sur la rapidité de l'immersion complète.

L'ensemble des expériences précédentes permet de se rendre compte de la façon dont les ponces sorties des évents volcaniques subaériens se comportent lorsqu'elles tombent à la mer.

Bien que d'une manière générale, la texture de ces roches soit des plus variables, les fragments très fins descendent immédiatement et rapidement sur le fond; un peu plus gros, ils sont susceptibles de flotter pendant un certain temps mais, en définitive assez court lorsque la dimension ne dépasse pas celle d'une noix. Les fragments plus gros flottent pour la plupart plus longtemps, peuvent être entraînés par les courants fort loin de leur lieu d'origine et la majeure partie finit par échouer sur des rivages. Heurtés par les vagues contre la terre ou roulés sur les plages de galets, comme leur résistance aux chocs est excessivement faible, ils sont immédiatement réduits en poussière fine et disparaissent sans laisser de traces. D'autres, parmi ces gros fragments, s'imbibant d'eau, s'alourdissent et tombent intacts sur le fond à une distance qui peut être extrêmement éloignée du lieu d'origine étant donnée la très longue durée de la flottaison. En outre, l'imbibition s'effectuant très lentement, après avoir été le jouet des courants aériens et marins superficiels, une fois complètement immergés, ils descendent doucement vers le fond et, pendant leur trajet, demeurent soumis à l'influence des courants inférieurs presque toujours très différents des courants supérieurs.

Cependant, ne se pourrait-il pas que certains gros fragments de ponce soient d'origine sous-marine et se rencontrent aujourd'hui sur le sol, très loin de leur lieu d'origine, sans avoir jamais été en contact avec l'atmosphère? La question mérite d'être étudiée car, s'il en était ainsi, les fragments dont il s'agit auraient été chassés par les courants sous-marins très profonds, consécutifs aux éruptions sous-marines et il en résulterait que les places d'où la drague les ramène maintenant, jalonneraient le parcours de ces courants et seraient par conséquent de nature à renseigner aussi bien sur ces parcours eux-mêmes que sur le lieu d'origine caché des éruptions.

D'après Murray et Renard[1] que je prendrai pour guides, les produits volcaniques récents trouvés sur le sol des océans sont : la ponce, le verre volcanique, la scorie, la palagonite et la limonite argileuse.

La ponce en fragments celluleux arrondis ou anguleux, d'un volume compris entre celui d'une tête d'homme et celui d'un pois, d'un grain de moutarde jusqu'à l'état de fine poussière microscopique, est particulièrement abondante auprès des centres volcaniques, les Açores dans l'Atlantique, les îles Kermadec, les Philippines, la Nouvelle-Zélande, les côtes du Japon et celles de l'Amérique du sud dans le Pacifique. Sa surface est souvent altérée et transformée en une matière argileuse, molle, de couleur rouge-brun et elle sert fréquemment de noyau aux nodules manganésiens. La ponce en fragments se rencontre dans les argiles rouges et les vases à Radiolaires;

[1] *Deep sea Deposits.* Reports of the voyage of *H. M. S. CHALLENGER.*

elle est plus rare dans les vases bleues et les vases calcaires sauf au voisinage des volcans actifs.

Presque tous les échantillons dragués sur le fond appartiennent à la variété dite ponce liparitique, de couleur blanchâtre ou grisâtre, en fibres allongées d'aspect soyeux quand l'altération est faible, mais s'écrasant sous l'ongle en matière terreuse amorphe lorsque le fragment est humide et très décomposé. Cette variété est la plus riche en silice; elle contient des grains isolés de sanidine, plagioclase, mica noir, pyroxène rhombique (enstatite, bronzite et hypersthène).

La variété andésitique ressemble beaucoup par ses caractères extérieurs à la ponce liparitique; elle contient environ 60 °/₀ de silice et se distingue parce qu'elle renferme de l'augite, du plagioclase et de la magnétite avec quelquefois des microlithes d'augite et d'hornblende, mais pas d'olivine.

La troisième variété est la ponce basaltique ou basique, en fragments vitreux vésiculaires, de couleur foncée jaunâtre ou vert-bouteille avec des pores généralement arrondis ou sphériques. Au microscope, elle offre l'aspect d'un verre vert-foncé englobant souvent des squelettes ou des cristaux bien définis d'olivine, d'augite et de plagioclase avec un peu ou point de magnétite et quelquefois des concrétions ferrugineuses ou manganésiennes noires et opaques. Elle contient en moyenne 50 °/₀ de silice.

La ponce des fonds marins affecte sous le microscope l'aspect d'une poussière fibreuse très fine provenant peut-être en partie de pluies de cendres d'origine subaérienne ou sous-marine. Parfois des grains manifestent des phénomènes optiques de tension analogues à ceux des larmes bataviques. Ces diverses variétés de ponces ne sont pas toujours faciles à distinguer les unes des autres en opérant sur des grains microscopiques.

Le verre basique est une autre roche volcanique moderne des fonds marins. Murray et Renard le considèrent comme le produit volcanique le plus abondant dans l'océan après les ponces. Il n'a été au contraire que rarement observé dans les formations géologiques et dans les éruptions des volcans continentaux récents. Le verre volcanique serait donc caractéristique d'éruptions sous-marines « comme si les océans profonds avaient été spécialement favorables au développement de ce type lithologique ». Les dimensions des grains varient depuis celles d'une noix, d'un pois et au-dessous, jusqu'aux grains microscopiques; ils sont le plus souvent très attaqués et transformés en palagonite. Les fragments sont arrondis, elliptiques ou aplatis et aussi très irréguliers. Les plus gros ont leur centre vitreux tandis que leur périphérie est constituée par des zones superposées de matières fortement altérées. Le verre qui les compose, réduit en poudre, est attaquable par les acides avec séparation de silice gélatineuse. Ils constituent souvent le noyau des nodules manganésiens. Les minéraux contenus dans les verres volcaniques sont l'olivine, le plagioclase presque toujours en lamelles rhombiques isolées et très minces, ces deux minéraux étant presque toujours séparés et rarement associés; l'augite et la magnétite y sont rares mais on y observe des cristallites et des concrétions noires opaques.

La palagonite est rouge, jaune-rougeâtre, jaune, brun sale, verte et enfin d'un blanc laiteux, peu homogène, transparente ou demi-opaque et elle manifeste quelquefois des couleurs de polarisation. Sa teneur en silice est de 44 à 49 % et elle résulte certainement d'une hydratation. Elle passe par degrés à l'état de matière argileuse ferrugineuse laissant isolés des cristaux très petits de plagioclase en tables rhombiques, quelquefois d'augite, plus rarement d'olivine, de magnétite et des zéolithes qui ont mieux résisté à la décomposition.

Les lapilli basaltiques et autres sont en fragments anguleux ou roulés avec enduit de manganèse. Leur aspect est tellement variable que Murray et Renard les désignent sous les noms vagues de scories, lapilli et particules volcaniques vitreuses. En fragments très menus, ils constituent les cendres volcaniques subaériennes ou sous-marines et ces mêmes auteurs leur attribuent une origine très récente car on y trouve une abondance d'embryons et de squelettes de cristaux arrêtés dans leur développement « comme si la matière vitreuse qui les englobe avait été soudainement refroidie de manière à interrompre brusquement des changements moléculaires en train de s'effectuer. »

Parmi les produits volcaniques, on cite encore de nombreux grains de magnétite, de manganèse et d'olivine transformés en hématite.

En définitive, les fonds volcaniques renferment les minéraux suivants : ponce, matière vitreuse plus ou moins bulleuse et transformée en palagonite colorée par le manganèse et le fer, hornblende, sanidine, plagioclase, olivine, hypersthène, bronzite, augite, quartz très rare en prismes bipyramidés ou en grains roulés souvent colorés par la limonite, probablement d'origine continentale et apportés par les vents, grains amorphes de limonite argileuse.

Maintenant que nous connaissons les opinions reçues sur la nature et la genèse des divers minéraux volcaniques des fonds marins, nous allons procéder aux expériences.

Expérience VII

Des fragments de ponce ordinaire de Lipari ont été placés dans un four à moufle où ils ont été chauffés au blanc et on les a ensuite projetés dans une capsule remplie d'eau froide de manière à produire un étonnement.

Les diverses ponces se sont comportées différemment. Celles d'un blanc pur sont devenues friables et se sont colorées en rouge jaunâtre clair. Les variétés un peu grises sont aussi devenues friables, se sont spontanément séparées en plusieurs morceaux et ont pris une couleur brun-rouge très foncée offrant absolument l'aspect des scories et des laves volcaniques celluleuses. (Voir Pl. II).

Au microscope, les petits fragments étonnés sont bulleux, opaques, semi-opaques ou même translucides en lamelles minces, de couleur brune, semés de concrétions circulaires d'un brun-rouge plus foncé. Leur aspect est tellement identique aux

produits abondants dans les préparations microscopiques des fonds des Açores et dénommés scories qu'on en pourrait introduire dans un échantillon avec la complète assurance qu'il serait impossible de distinguer les scories naturelles des scories artificielles.

Expérience VIII

De la ponce ferrugineuse c'est-à-dire légèrement teintée de gris a été porphyrisée et déposée dans une nacelle en platine placée elle-même dans un tube en platine et fortement chauffée; elle s'est transformée en émail bulleux de nuance verdâtre clair. (Voir Pl. II).

En chauffant dans les mêmes conditions au milieu d'un courant de vapeur d'eau de la ponce tantôt porphyrisée et tantôt en grains, on a obtenu un émail passant du verdâtre au brun-rouge foncé presque noir selon la quantité petite ou grande de fer contenue dans la ponce et l'intensité du chauffage. Si on ajoute une trace de magnétite, on rend les ponces réfractaires fusibles et on fonce fortement la nuance du verre.

En ajoutant à la vapeur d'eau de l'acide chlorhydrique, on ne remarque aucune différence sensible dans le phénomène; il y a toujours formation d'émail coloré.

Expérience IX

On a placé de la poudre de ponce dans de petits creusets à chalumeau qui ont ensuite été chauffés au four Forquignon-Leclerc. Il s'est produit un émail verdâtre clair d'autant plus bulleux que la matière était plus blanche et plus dure à fondre. Un morceau de ponce très blanche, chauffé dans les mêmes conditions, s'est montré particulièrement bulleux. L'addition de traces de magnétite augmentait d'une manière considérable la fusibilité, diminuait l'abondance des bulles et rendait la coloration plus intense.

On jetait le creuset et son contenu chauffés au blanc, dans de l'eau froide. Dans ces conditions, le verre refroidi conservait sa dureté et peut-être même l'augmentait. On observait seulement l'apparition fréquente à sa surface de points de couleur rouge brique. C'est l'état des larmes bataviques. Au contraire, si le verre étant refroidi, on se bornait à le chauffer au bec Bunsen en atteignant à peine le rouge sombre, sur une lame de platine, et à le projeter ensuite dans l'eau, l'étonnement se produisait. Le fragment projetait quelquefois de petites esquilles et, lorsqu'il restait compact en apparence, il était tellement sillonné de fissures fines qu'il s'émiettait par la moindre pression des doigts. De l'obsidienne véritable s'est comportée de même.

L'ensemble de ces expériences permet d'énoncer une théorie générale reliant entre eux les faits observés dans la nature et ceux élucidés par l'expérimentation dans le laboratoire.

Les volcans sont subaériens ou sous-marins. Par le cratère d'un volcan s'élève des profondeurs terrestres un magma rocheux qui, au moment de la sortie, par suite des liquations, des refroidissements plus ou moins rapides, des mille mélanges susceptibles d'affecter une matière pâteuse, lourde et pesante, montant, se solidifiant par portions, redescendant, se fondant de nouveau, se mêlant avec des parties déjà liquéfiées, donne finalement naissance à des matières dont la nature générale est à peu près la même et qui néanmoins offrent entre elles une extrême diversité d'aspect, matières essentiellement amorphes, tantôt de composition homogène, tantôt au contraire contenant des minéraux définis, ayant eu le temps de s'isoler, sanidine, plagioclase, mica noir, augite, hypersthène, magnétite, parfois hornblende et très rarement quartz. C'est la matière volcanique renfermant comme éléments essentiels de la silice, de l'alumine, du fer, du manganèse, parfois de l'oxyde de titane, de la chaux, de la magnésie, de la potasse et de la soude.

La matière volcanique présente chimiquement une assez grande variation dans les proportions respectives de ces divers éléments et, physiquement, une extrême variation dans son aspect et ses propriétés de tous genres, mécaniques, et physiques. Les transitions sont insensibles et l'on trouve tous les passages imaginables d'une variété à une autre variété. Les propriétés physiques et mécaniques, en particulier, résultent surtout des circonstances qui ont accompagné ou suivi l'éjection et qui, inversement, observées ensuite, permettent de retrouver et d'énoncer ces circonstances. Ainsi, par exemple, la fluidité et par conséquent l'aspect vitreux compact, résulterait d'une richesse en fer, élément fluidifiant, d'une pauvreté en silice, élément particulièrement réfractaire et de l'absence relative de gaz au moment de l'éjection. L'état ponceux sera attribuable à la pauvreté en fer, à la richesse en silice et à un abondant dégagement de gaz. L'oxydation plus ou moins complète du fer communiquera les colorations rouges, jaunes et brun-foncé; l'étonnement au contact de l'eau aura pour conséquence l'aspect scoriacé; la désintégration postérieure à l'éruption, la texture plus ou moins ocreuse et argileuse et ainsi de suite.

Les principaux types de roches volcaniques modernes sont les suivants. Elles passent des unes aux autres par degrés insensibles et il n'existe entre elles aucune différence essentielle. Leur constitution physique n'est autre que la trace qu'ont laissée sur elles les circonstances de leur genèse.

Ponce — ayant été très fluide en même temps qu'elle était fortement brassée par les gaz et ensuite rapidement refroidie ainsi que le prouvent l'allongement des vacuoles et l'aspect soyeux. Couleur blanche, grise, tirant plus ou moins au jaunâtre et au vert. La ponce est d'autant moins fusible qu'elle est plus blanche.

Matière volcanique compacte, vitreuse ou obsidienne — grise, brune, rouge ou noire selon la proportion de fer contenue et son état d'oxydation; a été très fluide mais son éjection a eu lieu en présence d'une faible quantité de gaz.

Matière volcanique scorifiée ou scorie plus ou moins bulleuse, aspect rugueux, couleur rouge-brun.

Matière volcanique ocreuse portant le nom de palagonite quand elle est concrétionnée, jaune, rouge-brique, brune selon l'état d'oxydation du fer et l'hydratation. C'est le terme final passant à la limonite argileuse, fin dernière de toutes les roches, volcaniques ou autres.

Dans les volcans subaériens, au milieu de gaz divers, acide chlorhydrique, acide sulfureux, hydrogène, etc., et surtout de torrents de vapeur d'eau, la matière volcanique sort du cratère à l'état de lave liquide et se répand sur les pentes en traînées ou coulées. Nous n'avons pas à nous en occuper au point de vue océanographique.

Les portions légères sont des ponces et des lapilli qui, si le volcan est voisin de la mer comme c'est le cas le plus fréquent, tombent sur le fond tout près du volcan.

Les ponces en fragments un peu moins fins vont au fond après avoir été entraînées par les courants mais à une très courte distance. Les gros fragments à partir de la dimension d'une noix, environ, éjectés dans l'air et tombés à la mer, s'enfoncent presque immédiatement si, par exemple, ils sont apportés par les fleuves ou les ruisseaux, étant déjà roulés, partiellement imbibés d'eau et décomposés, ce qui rend plus promptes leur imbibition complète et leur chute. Ainsi s'explique la présence des nombreux fragments ponceux arrondis chalutés autour des Açores et des autres îles de constitution lithologique analogue. Une autre portion demeure flottante. La plupart de ces derniers reste à la surface, sinon indéfiniment, du moins un temps tellement long que, poussés par le vent, entraînés par les courants, ils finissent par atterrir sur une plage quelconque où, à cause de leur fragilité, ils ne tardent pas à être broyés contre le sable et réduits en poussière fine qui disparaît bientôt. Une ponce émise à l'air ne descendra promptement au fond de l'eau que si elle a été originairement pulvérulente ou a été réduite à cet état postérieurement à sa création. On avait parlé de la poussière résultant du frottement mutuel de morceaux de ponce flottant en bancs. Sauf certains cas exceptionnels et au voisinage même de la localité où a eu lieu le cataclysme, comme dans le cas de la baie de Lampong qui lors de l'éruption du Krakatau, en 1883, fut recouverte d'un banc de fragments de ponce long de 30 kilomètres, large de 1 kilomètre, sur une épaisseur de 3 à 4 mètres, il est douteux que, remué par les vagues, le banc ne se disloque pas très rapidement de sorte que bientôt les fragments flottent isolément et s'éparpillent dans toutes les directions sans se pulvériser par frottement mutuel.

Les poussières ponceuses excessivement fines et assez ferrugineuses poussées jusqu'aux dernières limites de hauteur de la colonne de vapeur émise par le volcan, se transforment probablement sous la double action d'une chaleur modérée et de la vapeur d'eau à température également modérée, en une sorte de ponce ocreuse rougeâtre et peut-être constituent-elles les brouillards rouges crépusculaires qui, au moment de l'éruption du Krakatau, sont restés plusieurs jours dans l'atmosphère. Ces poussières finissent évidemment par tomber et, selon la hauteur à laquelle elles ont été envoyées, elles se distribuent indifféremment sur la terre et sur la mer, plus ou moins loin de leur lieu d'origine. Si la cendre volcanique est hétérogène et

contient des grains minéraux isolés, ceux-ci, à cause de leur grosseur et de leur plus forte densité, se répandent en pluie plus près de l'orifice volcanique que la poussière ocreuse fine.

Quand l'éruption s'effectue au fond de l'océan sous des épaisseurs de plusieurs centaines ou même milliers de mètres, il se peut que rien n'apparaisse à la surface et ne signale le cataclysme sauf, peut-être, dans certains cas, un tremblement de mer. Les éruptions voisines de la surface comme Santorin, Julia ou Sabrina, offrent un caractère mixte, sous-marin et subaérien. Dans une éruption sous-marine profonde, les gaz et la vapeur d'eau sont condensés, dissous et en même temps entraînés par le courant chaud qui court sur le fond. J'ai examiné des tronçons de câbles télégraphiques sous-marins brisés dans les régions volcaniques et retirés du fond par les bâtiments télégraphistes chargés de les réparer. Ils portent les marques indiscutables d'une corrosion par les acides et de l'action d'une haute température car l'enduit de résine ou de goudron qui les entoure présente des grains et des fragments à surface mamelonnée résultant évidemment d'une fusion. Ce courant reste contigu au fond parce que la pression des couches sus-jacentes et la prompte diminution de température de ses eaux ne lui permettent pas de s'élever jusqu'à la surface. Poussé de bas en haut par l'afflux continu de l'eau chaude, il ne peut donc que se diriger horizontalement. Alors, un peu par apport direct, surtout par l'enlèvement mécanique qu'il produit des vases légères déjà déposées et qu'il rencontre dans sa route, il ne laisse sur le sol que du sable, lequel continue ensuite à se recouvrir de vase à la façon ordinaire, aussitôt la fin du phénomène, lorsque tout est rentré dans les conditions ordinaires. Telle serait l'explication des couches minces sableuses comprises entre les couches calcaires, argileuses ou marneuses, c'est-à-dire autrefois vaseuses, que l'on observe parmi les roches stratifiées anciennes aussi bien qu'actuellement sur les boudins longs découpés par le tube sondeur dans les sondages profonds. Ces courants volcaniques se continuent sur le fond plus ou moins déviés par le relief du fond et vont s'éteindre à des distances probablement extrêmement éloignées de leur point d'origine. Ils constituent des raz-de-marées, phénomènes qui seraient ainsi d'origine volcanique ou sismique. Il en a été observé d'analogues au moment de l'éruption de la Montagne Pelée à la Martinique, en mai 1902, par M. le Dr E. Berté, médecin à bord du bâtiment télégraphiste le *POUYER-QUERTIER*.

Il serait intéressant de reconnaître par observation directe la présence de tels courants sur le fond. On en serait averti par une élévation de la température de l'eau et sans doute, par une alcalinité moindre, peut-être même par l'acidité de l'eau de mer due à une dissolution d'acide carbonique ou d'acide chlorhydrique.

Le magma volcanique sortant en masse compacte du cratère, est instantanément refroidi en échauffant l'eau et en produisant le courant dont nous venons de parler. La masse elle-même subit le phénomène connu sous le nom d'étonnement. Si sa température est très élevée, le phénomène des larmes bataviques se manifeste et la surface de la matière éjectée reste compacte, comme le prouve l'expérience

synthétique, dans un état de tension moléculaire qu'il suffira d'un choc quelconque ou d'une désintégration locale par voie chimique ou autre, pour faire cesser brusquement, la masse se brisant immédiatement en fragments très fins semblable à une énorme larme batavique. Si, comme il arrive toujours dans les éruptions volcaniques continentales, la température est seulement médiocrement élevée, l'étonnement donne naissance à des matières vitreuses, scorifiées ou ocreuses en poussière fine. Peut-être serait-on en droit d'attribuer pour une part, cette genèse à l'argile rouge si abondante dans le Pacifique.

Il en est autrement pour certains gros morceaux. Le fragment arrive au contact de l'eau assez refroidi pour n'être ni conservé massif à l'état batavique, ni étonné et cependant ses pores sont remplis de gaz chauds. Ces gaz se refroidissent, se contractent et leur place est prise dans les vacuoles par de l'eau. Il s'élève plus ou moins haut à travers l'océan, plutôt peu que beaucoup car la profondeur de la mer est supposée grande, il ne tarde pas à atteindre la hauteur où il est en flottaison parfaite, est alors entraîné par les courants, et comme il est incapable de remonter, il tend à descendre par imbibition lente d'eau, oxydation ou toute autre cause. Il finit donc par parvenir sur le fond où il reste indéfiniment. Telle serait l'origine de certains fragments ramenés par le chalut dans diverses expéditions océanographiques. Les fragments peuvent se recouvrir dans la suite de matière ocreuse qu'ils conservent, le noyau seul étant en vraie pierre ponce, ou qu'ils perdent si, chassés par les courants du fond, ils sont roulés et entraînés assez loin pour être totalement ou partiellement débarrassés de cette gangue argileuse. L'hypothèse servirait à expliquer la genèse des nodules ferrugineux et manganésiens.

En définitive, si un gros fragment de ponce qui a touché l'air ne descend pas toujours au fond, tout gros fragment de cette roche éjecté sous les eaux profondes, ne remonte pas toujours à la surface et, quand on le trouve sur le sol, il peut avoir été apporté à l'endroit qu'il occupe par les courants temporaires profonds de nature volcanique ou sismique. Non seulement il en signalerait ainsi l'existence en cet endroit, mais il en jalonnerait le parcours.

Il serait bon de savoir si la répartition des différentes variétés de roches volcaniques autour de l'orifice du volcan sous-marin qui les a éjectées, n'obéirait point à une loi déterminée. L'analyse des fonds fournirait alors la possibilité de trouver l'emplacement probable de cet orifice. L'extrême petitesse des fragments, leur infinie variété de constitution chimique et surtout physique ne laissent pas que de rendre le problème assez difficile à résoudre au moins tant que des recherches patientes sur le terrain, dans des parages à peu près connus, comme par exemple la région des Açores, n'auront pas fourni des données d'observation mettant sur la voie d'une solution.

LIBRARY
FISH & WILDLIFE SERVICE
PACIFIC OCEANIC FISHERY
INVESTIGATIONS

II. — ÉTUDE PRÉLIMINAIRE DES GROS FONDS

PROVENANT DES DIVERSES CAMPAGNES OCÉANOGRAPHIQUES

DE S. A. S. LE PRINCE DE MONACO

Nous désignerons sous le nom de gros fonds les gros fragments minéraux ou autres ramenés du fond par le chalut ou qui sont restés accrochés aux fauberts à cause de leur nature rugueuse comme certains nodules calcaires, morceaux de pierre ponce ou scories de bâtiments. Ils sont ensuite recueillis à la main au moment où le contenu du chalut est versé dans le premier tamis et ils se distinguent nettement par leur volume des fragments notablement moindres arrêtés par les mailles de ce tamis.

Ces gros fonds ont été examinés un à un quoique d'une façon sommaire en se bornant le plus souvent à des attaques à l'acide pour reconnaître le calcaire et à des essais au chalumeau afin de déceler la présence du manganèse. Leur étude détaillée aurait exigé un temps considérable. C'est dans le but de la préparer et de la faciliter que nous nous sommes livré au présent travail; les résultats offriront un intérêt. Quelques genres de fonds semblent plus spécialement susceptibles de donner matière à des monographies. Parmi eux je citerai les nodules calcaires, les dépôts manganésiens, les débris de houille et les scories de bâtiments ainsi que d'autres encore. Les savants qui voudront se livrer à ces recherches auront avantage à consulter notre catalogue; leur attention sera particulièrement attirée sur les échantillons où se trouvent les fonds qui les intéressent; ils seront en mesure d'en prendre une notion préliminaire générale et de se livrer immédiatement après à l'examen détaillé des échantillons particuliers qu'ils auront choisis.

J'ai appelé nodules calcaires des blocs calcaires de la grosseur des deux poings ou plus petits, caverneux, bourrés de débris de coquilles et devant vraisemblablement leur origine à des algues calcaires. Ils proviennent surtout des parages de l'archipel du Cap-Vert et je crois qu'on peut leur attribuer la genèse des sables blancs et calcaires assez communs sur plusieurs îles ou îlots du groupe. On leur avait supposé une origine sédimentaire et on les avait considérés comme les derniers vestiges de l'Atlantide. Plus ou moins agglomérés et durcis, ils sont tout simplement des dépôts de plages, résultant du broiement par les vagues, des nodules calcaires

mélangés de grains volcaniques et postérieurement métamorphisés au contact des roches volcaniques de toute nature constituant la masse principale des îles.

Les croûtes océaniques sont des fonds indurés de consistance variable formés sous l'influence de phénomènes encore mal connus et sur lesquels Natterer, qui en a découvert en Méditerranée pendant les diverses campagnes de la *Pola*, a depuis longtemps déjà appelé l'attention.

La distribution du manganèse est assez abondante au fond de la mer. On trouve ce métal ou plutôt son oxyde sous trois formes. Tantôt il est en nodules arrondis ou en cailloux irréguliers à croûte noire et comme vernie; d'autres fois, il affecte l'aspect d'un enduit terreux peu épais ou de fines dendrites de couleur brune; d'autres fois enfin, il est scoriforme et ressemble à de minces plaquettes noires, dures et résistantes laissant entre elles des espaces vides remplis de la vase ordinaire des profondeurs au sein de laquelle elles ont pris naissance. Les échantillons mentionnés ont été essayés au chalumeau et ont donné avec la soude, sur la lame de platine, l'enduit vert caractéristique.

Certains galets sont striés très probablement par l'effet d'une exaration glaciaire.

Les débris de houille et les scories de bâtiments jalonnent le tracé des grandes lignes de navigation.

On est surpris de voir combien l'action de l'homme, le fait de sa présence, se manifeste dans les endroits où l'on s'attendait le moins à l'observer. Un dragage par 6035 mètres entre l'archipel du Cap-Vert et le Brésil, en plein océan, rapporte une douve de baril; un autre, au large de la côte du Maroc sur l'Atlantique, donne un noyau de pêche; d'autres un morceau de résine, du liège, des branches d'arbres, un tuyau de pipe. Agassiz a parlé de dragages profonds qui, dans le golfe du Mexique, ont ramené d'énormes quantités de débris de plantes et de coquilles terrestres; j'ai moi-même trouvé en 1895, à bord du *Caudan*, par 600 mètres de profondeur, dans le golfe de Gascogne, des fragments de bois d'aulne revêtu de son écorce et des débris de *Tipha* parfaitement conservés. De tels résultats donneront peut-être à penser aux paléontologistes de l'avenir et, en attendant, fourniront aux paléontologistes actuels matière à de sérieuses réflexions.

Il est difficile de donner un nom aux menus fragments rocheux provenant du chalut. Je laisse de côté, à dessein, le vague qui règne encore aujourd'hui dans la nomenclature et la classification des roches. Entre les opinions souvent diamétralement opposées des spécialistes, il est permis d'hésiter. A cela s'ajoute la difficulté de reconnaître, sans y consacrer un temps considérable, des fragments souillés de vase, toujours plus ou moins modifiés à leur surface et parfois même dans leur masse par un séjour prolongé au fond des eaux et qu'on craint de détruire surtout lorsqu'on n'a pas l'intention d'en aborder complètement l'étude. J'ai fait de mon mieux pour faciliter à d'autres cette tâche. S'il m'est permis d'émettre une opinion personnelle qui résulte pour moi de l'examen de tous ces fragments ainsi que de mes observations dans des pays où le sol encore vierge a conservé nettement la trace des évènements

géologiques dont il a été le théâtre, j'avouerai que je me persuade de plus en plus que les roches passent les unes aux autres par gradations insensibles, que leurs véritables types sont en nombre fort restreint, que leur classification doit être d'abord basée sur la chimie, puis sur la minéralogie et qu'elle doit ainsi pouvoir être établie à l'aide de petits fragments, non pas taillés en lames minces ce qui possède, à tout le moins, l'inconvénient d'être long et médiocrement pratique. Je m'occupe d'un travail de ce genre. L'examen microscopique de lames minces s'applique non pas à l'étude de la nature de la roche, impossible à juger sur l'étendue infiniment restreinte d'une et même de plusieurs plaques, mais à la découverte des conditions, température, pression, rapidité plus ou moins grande de solidification, etc., auxquelles a été soumis l'échantillon examiné. Combien il serait à souhaiter qu'un chimiste abordât l'étude des alliages rocheux afin de livrer aux pétrologistes les résultats qu'il ne manquerait pas d'obtenir.

Je terminerai en indiquant quelques abréviations dont je me suis servi. Les lettres R et A signifient que les fragments appartenant à l'espèce de roche citée sont rares ou abondants. Quant aux termes noisettes, noix, prunes, etc., j'ai dû les employer justement à cause de leur caractère vague et peu scientifique pour désigner d'une manière simple et à dessein peu rigoureuse, la dimension moyenne de morceaux irréguliers. Les plus gros fragments ont été pesés et leur poids indiqué en grammes.

Catalogue

— Stn. 105, 25 juin 1887; lat. = 38° 23' 45" N. — long.[1] = 28° 31' 15" W.
Profondeur 927 m. Açores. — Chalut.
Fragments de croûtes océaniques, débris de polypiers A; radioles d'oursins d'aspect fossile. Tous ces échantillons ont une couleur rougeâtre, terreuse.

— Stn. 161, 2 août 1887; lat. = 46° 04' 40" N. — long. = 46° 42' 15" W.
Profondeur 1267 m. Terre-Neuve. — Chalut.
2 fragments de phyllade.

— Stn. 162, 3 août 1887; lat. = 46° 50' 06" N. — long. = 47° 51' 30" W.
Profondeur 155 m. Terre-Neuve. — Chalut.
Granite, quartz et quartzites, grès blanc avec enduit de Mn, grès vert; calcaire compacte rouge. — Tous ces échantillons ont la forme de galets aux angles arrondis.

— Stn. 163, 4 août 1887; lat. = 47° 33' N. — long. = 51° 08' W.
Profondeur 150 m. — Terre-Neuve. — Chalut.
Galet de quartz strié (p = 200); pegmatite (p = 180), calcaire perforé (p = 240).
2 fragments de granite, gneiss à amphibole (p = 520-100), quartzite (p = 250).
Pegmatite (p = 20); phyllade (p = 280).
2 fragments de phyllade (p = 270-300).
2 croûtes océaniques argileuses désagrégées par HCl et englobant des concrétions de Mn.
Syénite quartzeuse (p = 250); quartzite (p = 250).

— Stn. 164, 5-16 août 1887; lat. = 47° 34' N. — long. = 34° 33' 45" W.
Terre-Neuve. — Nasse métallique, filet fin, etc.
Syénite, granite, pegmatite; grès blanc strié; calcaire A dont certains fragments ont un enduit de Mn et englobent des nodules d'olivine décomposée faisant effervescence avec HCl.

— Stn. 184, 14 juillet 1888; lat. = 40° 05' N. — long. = 27° 27' 45" W.
Profondeur 1850 m. Açores. — Chalut.

[1] Longitude de Greenwich.

Granite R; quartzite vert avec taches jaunes brillantes, diorite R; ponce (noisettes) A; calcaire compacte poli et strié; fragment de croûte océanique — houille et coke.

— Stn. 203, 30 juillet 1888; lat. = 39° 27' 05" N. — long. = 30° 55' 05" W.
Profondeur 1557 m. Açores. — Chalut.
Ponce rouge A, scories volcaniques, — calcaire — croûtes océaniques sans Mn — scories de bâtiments.

— Stn. 213, 2 août 1888; lat. = 39° 22' 48" N. — long. = 31° 25' 15" W.
Profondeur 1384 m. Açores. — Chalut.
Ponce grise et ponce rougeâtre en fragments roulés — scories de bâtiments — débris de coquilles A; ptéropodes A *(Cleodora)*.

— Stn. 227, 15 août 1888; lat. = 38° 23' N. — long. = 28° 26' 37" W.
Profondeur 1135 m. Açores. — Chalut.
Roches volcaniques avec cristaux d'amphibole A; ponce R — scories volcaniques — scories de bâtiments.

— Stn. 233, 18 août 1888; lat. = 38° 33' 21" N. — long. = 28° 08' 39" W.
Profondeur 1300 m. Açores. — Chalut.
Ponce brune (pois) A.
Croûtes océaniques grises et jaunes.

— Stn. 234, 19 août 1888; lat. = 39° 01' 40" N. — long. = 27° 55' 25" W.
Profondeur 454 m. Açores. — Chalut.
Roche volcanique réduite à l'état d'ocre avec petits cristaux de pyroxène bien conservés et enduit calcaire par places (p = 400).
Roche volcanique (p = 6500).
Croûtes océaniques très homogènes, de couleur rouge.
Ponce très rouge en petits grains; dans HCl le fer est immédiatement attaqué et laisse la ponce blanche. C'est peut-être une croûte océanique se formant dans l'intérieur et à l'extérieur des grains de ponce.

— Stn. 242, 22 août 1888; lat. = 38° 48' 30" N. — long. = 27° 58' 45" W.
Profondeur 861 m. Açores. — Chalut.
Roche volcanique décomposée avec cristaux de pyroxène et d'olivine bien conservés; ponce rouge (noisettes) R — cailloux manganésiens A; croûtes océaniques A — débris de coquilles.

— Stn. 244, 27 août 1888; lat. = 38° 33' 57" N. — long. = 28° 19' 15" W.
Profondeur 1266 m. Açores. — Chalut.
Ponce rouge (noisettes) A — scories de bâtiments.

— Stn. 277, 23 août 1892; lat. = 44° 09' N. — long. = 8° 08' 45" W.
Profondeur 351 m. Atlantique, près du cap Finisterre. — Chalut.
Granite à mica blanc, granites divers, pegmatite décomposée, amphibolite, quartzite, quartz blanc — houille, scories de bâtiments — débris de polypiers et de coquilles.

— Stn. 316, 7 août 1893; lat. = 38° 28' N. — long. = 15° 27' 15" E.
Profondeur 1103 m. Méditerranée, dans le NW. du détroit de Messine. — Chalut.
Ponce fibreuse (noisettes-noix) en morceaux arrondis et anguleux.
Ponce englobant des cristaux de pyroxène (p = 500).

— Stn. 475, 31 juillet 1894; lat. = 37° 52' N. — long. = 9° 15' 45" W.
Profondeur 552 m. Atlantique, côte du Portugal. — Chalut.
Scories de bâtiments.

— Stn. 486, 21 août 1894; lat. = 43° 52' N. — long. = 9° 05' 45" W.
Profondeur 1674 m. Atlantique, près du cap Ortegal. — Chalut.
Syénite R, calcaire R — houille A, scories de bâtiments A — quelques débris de polypiers.

— Stn. 503, 29 août 1894; lat. = 47° 12' N. — long. = 5° 51' 45" W.
Profondeur 1262-748 m. Atlantique, golfe de Gascogne. — Chalut.
Syénite (p = 2300).
Granite, quartzite, quartz rouge A, micaschiste A — houille, coke R — débris de coquilles A.

— Stn. 527, 25 juin 1895; lat. = { 38° 09' N. — 38° 08' N. — long. = { 23° 15' 45" W. 23° 18' 45" W.
Profondeur 4020 m. Atlantique, E. des Açores. — Chalut.
Gros fragments de ponce brune avec gros cristaux ferrugineux entièrement décomposés.
Quartzite A en fragments (prunes) anguleux couverts d'un enduit de Mn; ponce englobant des cristaux d'amphibole presque entièrement décomposés et réduits à l'état d'oxyde de fer; nodules de Mn (noix) arrondis avec noyau blanc et faisant une légère effervescence avec HCl; — houille, scories de bâtiments (noix) très poreuses R.

— Stn. 553, 3 juillet 1895; lat. = 37° 42' 40" N. — long. = 25° 05' 15" W.
Profondeur 1385 m. Açores. — Chalut.
Roche volcanique celluleuse (p = 1800).
Scories volcaniques A; ponce brune A.
Débris de coquilles.

— Stn. 575, 13 juillet 1895; lat. = 38° 27' N. — long. = { 26° 30' 15" W. / 26° 28' 45" W.
Profondeur 1165 m. Açores. — Chalut.
Quartzite rouge strié; scories volcaniques avec gros cristaux de sanidine; ponce A (pommes).

— Stn. 578, 14 juillet 1895; lat. = 38° 26' N. — long. = 26° 30' 45" W.
Profondeur 1165 m. Açores. — Chalut.
Basalte (légère effervescence avec HCl) avec enduit de Mn, (p = 2000).
Basalte avec enduit de Mn (p = 4000).
Croûte océanique homogène jaune ocreux avec beaucoup de Mn, A.
Caillou de quartz (p = 350) noirci par Mn.

— Stn. 602, 24 juillet 1895; lat. = { 38° 38' 30" N. — / 38° 37' 30" N. — long. = { 28° 13' 05" W. / 28° 09' 45" W.
Profondeur 1230 m. Açores. — Chalut.
Ponce (noisettes-prunes), scories volcaniques, — morceau de résine.

— Stn. 624, 4 août 1895; lat. = { 38° 59' N. — / 58° 56' 30" N. — long. = { 28° 18' 05" W. / 28° 19' 45" W.
Profondeur 2102 m. Açores. — Chalut.
Ponce (noisettes, prunes) A.
Sable de ponce avec grains de couleur foncée ressemblant à un grès ponceux non cimenté, sans Mn — débris de foraminifères et de ptéropodes.

— Stn. 650, 22 juin 1896; lat. = { 36° 54' N. — / 36° 54' N. — long. = { 20° 46' 15" W. / 20° 51' 45" W.
Profondeur 4400 m. Atlantique, NE. des Açores. — Chalut.
Roche à olivine avec enduit manganésien R; ponce (pomme) A; calcaire en plaquettes avec enduit de Mn; nodule manganésien scoriforme.

— Stn. 652, 23 juin 1896; lat. = 36° 55' N. — long. = 22° 22' 45" W.
Profondeur 4261 m. Atlantique, NE. des Açores. — Chalut.
Ponce (prunes) A; cailloux manganésiens — scories de bâtiments.

— Stn. 663, 27 juin 1896; lat. = 37° 28' 30" N. — long. = 25° 31' 45" W.
Profondeur 1732 m. Açores. — Chalut.
Ponce (prunes) A, en fragments usés et arrondis.

— Stn. 683, 7 juillet 1896; lat. = 38° 20' N. — long. = 28° 04' 45" W.
Profondeur 1550 m. Açores. — Chalut.
Lave avec enduit manganésien.

— Stn. 684, 8 juillet 1896; lat. = 38° 20' N. — long. = 28° 04' 45" W.
Profondeur 1550 m. Açores. — Chalut.
Vase volcanique indurée avec petits fragments de ponce.

— Stn. 719, 27 juillet 1896; lat. = 39° 11' N. — long. = 30° 24' 15" W.
Profondeur 1600 m. Açores. — Chalut.
Ponce non fibreuse (prune); polypiers noircis.
Ponce (noix) — débris de polypiers A et de coquilles; spicules d'éponges R.

— Stn. 738, 7 août 1896; lat. = 37° 40' N. — long. = 26° 26' 15" W.
Profondeur 1919 m. Açores. — Chalut.
Ponce rosée A, ponce brune sans Mn — houille, coke.

— Stn. 743, 11 août 1896; lat. = 37° 35' 45" N. — long. = 25° 17' 15" W.
Profondeur 1494 m. Açores. — Chalut.
Croûte océanique gréseuse à grains fins A, cimentés par l'oxyde de fer, ne faisant pas effervescence avec HCl mais laissant un résidu de ponce quand on la chauffe avec l'acide.
Ponce rouge (noix) A — houille et scories de bâtiments.

— Stn. 749, 16-17 août; lat. = { 38° 54' N. — / 38° 55' N. — } long. = { 21° 06' 45" W. / 21° 18' 45" W. }
Profondeur 5005 m. Atlantique, NE. des Açores. — Chalut.
Ponce imprégnée de vase (p = 50), où l'on distingue la marque laissée par le sol sous-marin sur lequel reposait l'échantillon.
Croûtes océaniques épaisses de 3-4 cm, très légères, avec plaques et concrétions noires, dures, non manganésiennes — coke.
Ponce (noisettes); croûtes océaniques en fragments; manganèse scoriforme A — scories de bâtiments.
Croûte océanique blanche avec grains et enduit de Mn.

— Stn. 753, 18-19 août 1896; lat. = { 39° 50' N. — / 39° 54' N. — } long. = { 17° 57' 45" W. / 18° 06' 45" W. }
Profondeur 4360 m. Atlantique, entre les Açores et le Portugal. — Chalut.

Granite rouge, quartzite, ponce A — croûte océanique — scories de bâtiments — charbon de bois.

— Stn. 821, 11-12 juillet 1897; lat. = { 30° 48' N. — / 30° 45' N. — } long. = { 25° 18' 15" W. / 25° 20' 45" W. }

Profondeur 5440 m. Atlantique, entre les Açores et les Canaries. — Chalut à larges mailles, drague Vallée.

Ponce R; beaux nodules manganésiens A; nodules manganésiens scoriformes A — scories de bâtiments R.

— Stn. 863, 1er août 1897; lat. = { 39° 22' N. — / 39° 19' N. — } long. = { 26° 55' 45" W. / 26° 54' 45" W. }

Profondeur 1940 m. Açores. — Chalut.

Granite à amphibole R, quartzite R, ponce A — calcaire rougeâtre R — scories de bâtiments — fragment d'écorce de bois.

— Stn. 869, 3 août 1897; lat. = 39° 03' N. — long. = 27° 42' 45" W.

Profondeur 1240 m. Açores. — Chalut.

Croûtes océaniques A de couleur brun foncé, très riches en Mn.

— Stn. 899, 12 août 1897; lat. = 37° 57' N. — long. = 29° 14' 45" W.

Profondeur 200 m. Açores, banc de la Princesse-Alice. — Chalut.

Croûtes océaniques rouges (p = 1100) avec Mn.

— Stn. 939, 18 juillet 1898; lat. = 66° 42' N. — long. = 13° 43' 15" E.

Profondeur 177 m. Côte de Norvége. — Chalut.

Granite, gneiss, granulite — houille.

— Stn. 952, 22 juillet 1898; lat. = 69° 17' 30" N. — long. = 14° 24' 15" E.

Profondeur 1185 m. Côte de Norvége. — Chalut.

Quartz avec paillettes brillantes jaune d'or; quartzite strié.

— Stn. 960, 29 juillet 1898; lat. = 72° 37' N. — long. = 20° 00' 15" E.

Profondeur 394 m. Entre la Norvége et l'île des Ours. — Chalut.

Syénite, pegmatite, schiste, quartz, grès, calcaire.

— Stn. 991, 7 août 1898; lat. = 76° 56' N. — long. = 11° 20' 15" E.

Profondeur 1535 m. Spitzberg. — Chalut.

Granite, syénite, schiste A, pegmatite décomposée; galets striés, silex noir, argilite rouge.

— Stn. 997, 11 août 1898; lat. = 78° 22' N. — long. = 17° 10' 15" E.
Profondeur 102 m. Spitzberg. — Chalut.
Diorite porphyroïde, quartz, quartzite rouge, quartzite bleu A, eurite — calcaire A, argilite rouge.

— Stn. 1012, 18 août 1898; lat. = 80° 01' N. — long. = 10° 51' 15" E.
Profondeur 430 m. Spitzberg. — Chalut.
Granite sans Mn, gneiss, schiste, schiste gréseux, grès, galet de quartz, silex, calcaire bleu, calcaire rouge foncé.

— Stn. 1017, 19 août 1898; lat. = 79° 28' N. — long. = 5° 40' 15" E.
Profondeur 1865 m. Spitzberg. — Chalut.
Quartzite blanc, quartzite bleu, pegmatite décomposée, calcaire.

— Stn. 1033, 2 septembre 1898; lat. = 73° 12' N. — long. = 3° 24' 15" E.
Profondeur 2469 m. Entre le Spitzberg et l'Islande. — Chalut.
Grès strié et usé par l'action glaciaire, grès rouge, calcaire, calcaire en plaquette, avec enduit manganésien.

— Stn. 1043, 13 septembre 1898; lat. = 59° 03' N. — long. 1° 47' 45" W.
Profondeur 88 m. A l'E. des Orcades. — Chalut.
Coke, scories de bâtiments.

— Stn. 1052, 10 juillet 1899; lat. = 65° 41' N. — long. = 9° 30' 15" E.
Profondeur 440 m. Côte de Norvége. — Chalut.
Granite rose A, gneiss, diorite, schiste, quartzite dont quelques galets sont striés; calcaire R; nodule manganésien, petit fragment de croûte océanique grise.

— Stn. 1060, 30 juillet 1899; profondeur 9-12 m. Baie Red (Spitzberg). — Petite drague.
Granite décomposé, gneiss, quartzite.

— Stn. 1067, 3 août 1899; à terre. Baie Advent (Spitzberg). — A terre.
Micaschiste, galets de quartz.

— Stn. 1074, 18 août 1899; profondeur 22 m. Baie Treurenberg (Spitzberg). — Petite drague.
Quartz, schiste, grès rouge et grès jaune très décomposés.

— Stn. 1114, 10 juillet 1901; lat. = 33° 59' 30" N. — long. = 8° 12' 45" W.
Profondeur 851 m. Atlantique, au large de Casa Blanca, Maroc. — Chalut.
Scorie de bâtiments.

— Stn. 1116, 11 juillet 1901; lat. = 31° 43' 30" N. — long. = 10° 46' 45" W.
Profondeur 2165 m. Atlantique, au large de Mogador. — Chalut.
Granite à feldspath rose avec enduit de Mn, quartzite noir, quartzite blanc avec enduit manganésien (p = 1700), quartz rouge, grès rose, croûte océanique avec Mn scoriforme, argilite jaune. Presque tous ces cailloux sont recouverts d'enduit manganésien.

— Stn. 1118, 12 juillet 1901; lat. = 29° 06' 30" N. — long. = 13° 02' 45" W.
Profondeur 1098 m. Canaries, côte E. de Lanzarote. Chalut.
Gros fragments de basalte (p = 2500, 1000, 650); petits nodules calcaires — houille, coke, scories de bâtiments — éponges.

— Stn. 1123, 15 juillet 1901; lat. = 27° 41' N. — long. = 17° 53' 45" W.
Profondeur 1786 m. Canaries, près de Hierro. — Chalut.
Basalte, ponce — branche d'arbre.

— Stn. 1144, 22 juillet 1901; lat. = 16° 44' N. — long. = 24° 48' 45" W.
Profondeur 828 m. W. des îles du Cap-Vert. — Chalut.
Roche volcanique décomposée sans Mn, nodules calcaires A — débris de coquilles.

— Stn. 1150, 25 juillet 1901; lat. = 16° 12' N. — long. = 24° 43' 45" W.
Profondeur 3890 m. W. des îles du Cap-Vert. — Chalut.
Vase, houille, coke, scories de bâtiments, radioles d'oursins.

— Stn. 1157, 29 juillet 1901; lat. = 16° 48' N. — long. = 25° 05' 45" W.
Profondeur 219 m. Iles du Cap-Vert, près de São-Vicente. — Chalut.
Nodules calcaires.

— Stn. 1173, 6 août 1901; lat. = 12° 07' 30" N. — long. = 33° 32' 45" W.
Profondeur 6035 m. SW. des îles du Cap-Vert. — Chalut.
Douve de baril.

— Stn. 1186, 14 août 1901; lat. = 15° 15' N. — long. = 23° 04' 05" W.
Profondeur 660 m. Iles du Cap-Vert. — Chalut.
Roche volcanique décomposée; nodules calcaires.

— Stn. 1190, 14 août 1901; lat. = 15° 14' N. — long. = 23° 03' 45" W.
Profondeur 628 m. Iles du Cap-Vert, près de Maio. — Chalut.
Cailloux manganésiens, nodules calcaires, débris de coquilles et de polypiers.
Nodules calcaires dans une vase verte; agrégats de coquilles.

— Stn. 1193, 15 août 1901; lat. = 15° 17' N. — long. = 23° 01' 45" W.
Profondeur 1311 m. Iles du Cap-Vert, près de Maio. — Chalut.
Croûte océanique brune avec enduit de Mn; coke, madrépores — liège de filet.

— Stn. 1203, 18 août 1901; lat. = 15° 54' N. — long. = 22° 54' 45" W.
Profondeur 91 m. Iles du Cap-Vert, SW. de Boavista. — Chalut.
Nodules calcaires A; coquilles, éponges.

— Stn. 1221, 24-25 et 29-30 août 1901. Iles du Cap-Vert. — Baie de Tarrafal (S. Antão).
Roche volcanique avec zéolithes.

— Stn. 1242, 10 septembre 1901; lat. = 33° 45' N. — long. = 14° 20' W.
Profondeur 240 m. Atlantique, banc de la Seine. — Chalut.
Croûtes océaniques.

— Stn. 1318, 5 août 1902; lat. = 30° 06' N. — long. = 26° 13' 45" W.
Profondeur 3018 m. Fosse de l'Hirondelle, Açores. — Chalut.
Basalte très décomposé.

— Stn. 1334, 13 août 1902; lat. = 39° 30' N. — long. = 29° 02' 15" W.
Profondeur 1900 m. 55 milles NNW. de Fayal. — Chalut.
Ponce très roulée (noisettes); quelques fragments un peu plus gros (prunes) AA; houille; escarbilles; 1 fragment de quartzite noir (p = 10) qui semble porter des traces de stries glaciaires; 1 petit fragment de grès quartzeux gris.

— Stn. 1546, 5 septembre 1903; lat. = 46° 47' N. — long. = 5° 18' W.
Profondeur 800 m. Entrée de la Manche. — Chalut.
Syénite (p = 70 kil.); grès feldspathique (p = 93 kil.).

— Stn. 1702, 29 juillet 1904. Grande Salvage (N. des Canaries); littoral.
Basalte (p = 400 g).

— Stn. 1713, 1er août 1904; lat. = 28° 04' N. — long. = 16° 49' 30" W.
Profondeur 1530-1340 m. Près de Ténérife. — Chalut.
2 cailloux basalte compacte (p = 350); 1 caillou basalte poreux (p = 40); débris de coquilles, madrépores, oursins, serpules, etc; nodules calcaires d'origine organique AA sans enduit manganésien.

— Stn. 1757, 11 août 1904; lat. = 29° 05' N. — long. = 16° 58' W.
Profondeur 3825 m. Canaries. — Chalut.

Escarbilles AA; houille A; sable jaune induré très tendre (4 fragments noix); 1 petit nodule calcaire d'origine organique; ponce partiellement décomposée, très tendre, en fragments roulés (noix), 1 fragment gros comme une prune; 1 caillou quartzite avec enduit manganésien (p = 400); quelques petits fragments grès calcaire induré assez tendre avec enduit manganésien.

III. — ANALYSE DES FONDS

RÉCOLTÉS PENDANT LA CAMPAGNE DE 1902

Les analyses qui suivent sont données avec plus de détail que les analyses des fascicules précédents, XIX et XXII. C'est le résultat inévitable d'une plus longue expérience de la part de l'opérateur qui est amené, par son travail même, à perfectionner ses méthodes, à en imaginer de nouvelles plus précises et aussi dont l'attention éveillée par l'examen d'un nombre de plus en plus considérable d'échantillons, accorde à certaines circonstances une importance insoupçonnée au début.

1. Tout d'abord j'ai introduit une nouvelle subdivision dans la détermination de la richesse calcaire d'un fond. La dénomination de *calcaire* correspondait auparavant à une proportion de carbonate de chaux comprise entre 5 et 50 %. Or, la richesse en calcaire paraît de plus en plus devoir servir à la classification secondaire des sables vaseux, vases sableuses et surtout des vases qui, en dehors des régions immédiatement contiguës aux continents, occupent la majeure partie du lit océanique. J'appelle *médiocrement calcaire* un sédiment contenant de 5 à 25 % de carbonate de chaux, de sorte que la dénomination de *calcaire* est maintenant restreinte aux fonds qui en renferment de 25 à 50 %. L'échelle sera donc désormais la suivante :

I.	fond	faiblement calcaire contenant au plus	5 % de $CaCO^3$
II.	»	médiocrement calcaire contenant.....	de 5 à 25 % »
III.	»	calcaire contenant	» 25 à 50 % »
IV.	»	très calcaire contenant.....	» 50 à 75 % »
V.	»	extrêmement calcaire contenant plus de	75 % »

2. Je n'ai plus noté qu'occasionnellement, lorsque ce caractère me semblait offrir une importance spéciale, les subdivisions du sable en gros, moyen, fin ou très fin. Cette classification, indispensable pour les fonds côtiers et en général les fonds riches en minéraux, est superflue pour des fonds abyssaux comme ceux dont nous avons à nous occuper ici et dont le sable, au lieu d'être constitué par des minéraux durs et résistants, est formé en presque totalité par des coquilles de foraminifères extrêmement fragiles qui se pulvérisent pendant les opérations mêmes du triage soit à sec,

soit dans l'eau. Pour le même motif, j'ai supprimé la répartition proportionnelle, obtenue par le calcul, du carbonate de chaux entre les diverses catégories de sable et de la vase.

3. Le dosage de l'ammoniaque est devenu plus précis. Le procédé du dosage exposé fascicule XXII, p. 33, n'a pas changé, mais l'ammoniaque totale ayant été recueillie dans le liquide condensé, sa quantité n'a plus été évaluée par la simple comparaison directe de sa coloration au réactif de Nessler avec la coloration d'une série de solutions ammoniacales types, à proportions connues, traitées par le réactif de Nessler et contenues dans des tubes identiques. On s'est contenté de préparer une seule solution ammoniacale type, colorée, de la verser dans l'un des deux tubes d'un colorimètre Dubosc, de verser dans l'autre tube une hauteur constante de la liqueur ammoniacale résultant du traitement du fond, et enfin de faire varier l'épaisseur de la solution type jusqu'à ce que sa teinte soit identique à celle de la solution expérimentée. Il a été admis que les proportions d'ammoniaque étaient entre elles dans le même rapport que les hauteurs dans les tubes. La solution ammoniacale type, préparée chaque jour, conservait ainsi sa teinte normale, sans risque d'altération.

Station 1250

20 mars 1902.
80 milles environ de Monaco.
Tube sondeur Buchanan.

Lat. = 42° 54' N.
Long. = 8° 50' 15" E.
Prof. = 1870 m.

Vase sableuse calcaire.

Sable			11	après acide	5
Vase	fins-fins 4	89	»	»	2
	arg. calc. 85		»	»	»
Argile			»	»	62
Calcaire			»	»	31
			100		100

Ammoniaque totale = 46 mmg par kilog.

Caract. macrosc. Vase gris-rosé, homogène, finement grenue à l'état humide, même aspect, teinte plus claire à l'état sec.

Caract. microsc. Globigérines, Orbulines, etc., spicules; débris de coquilles nacrées.

Serpentine amorphe.

Amphibole hornblende souvent serpentinisée; mica biotite; feldspath orthose; quartz enfumé, verdâtre par places, en grains arrondis et anguleux (d = 0,26 mm) A.A — calcédoine.

Obs. Plaquettes planes minces, de couleur sépia, donnant une croix tournante en lumière polarisée, à bords presque toujours rectilignes mais quelquefois légèrement courbes, à surface de teinte uniforme parfois semée de portions de couleur plus claire ou moins claire offrant l'aspect d'une mosaïque, avec de fines stries noires rectilignes se coupant dans toutes les directions. Ces plaquettes disparaissent entièrement par une addition de HCl.

Station 1251

20 mars 1902.
12 milles au N. de l'île Rousse (Corse).
Tube sondeur Buchanan.

Lat. = 42° 50' 30" N.
Long. = 8° 55' 45" E.
Prof. = 1350 m.

Vase calcaire.

Sable			8	après acide	tr.
Vase	fins-fins 3	92	»		1
	arg. calc 89		»		»
Argile			»		52
Calcaire			»		47
		100			100

Ammoniaque totale = 102 mmg par kilog.

Caract. macrosc. humide. Vase gris-brun, homogène, finement grenue; *sec :* gris clair rosé. Gros grains assez rares (d = 0.1 mm).

Caract. microsc. Foraminifères (Globigérines, etc.) — Radiolaires; spicules; débris de coquilles nacrées.

Serpentine.

Biotite R; feldspath orthose grisâtre A; quartz R; calcédoine et silex.

Obs. Plaquettes calcaires couleur sépia.

Station 1255

15 avril 1902. Lat. = 43° 36' N.
Environ 35 milles de Monaco. Long = 7° 38' 45" E.
Tube sondeur Buchanan. Prof. = 1485 m.

Vase médiocrement calcaire.

Sable			1	après acide	tr.
Vase	fins-fins 2	99	»	»	1
	arg. calc 97		»	»	»
Argile			»	»	92
Calcaire			»	»	7
			100		100

Ammoniaque totale = 151 mmg par kilog.

Caract. macrosc. humide. Vase brun-verdâtre, homogène, finement grenue; *sec :* teinte plus claire.

Caract. microsc. Foraminifères (Globigérines) R; débris de coquilles R. Grains minéraux roulés, très uniformes de grandeur (d. max. = 0.2 mm).

Serpentine, magnétite.

Biotite R; cordiérite R; orthose très sale A; quartz R; calcédoine.

Station 1259

15 mai 1902.
Au large de Monaco.
Long tube sondeur Buchanan.

Lat. = 43° 41' N.
Long. = 7° 26' 25" E.
Prof. = 615 m.

Vase calcaire.

Sable		tr.	après acide	0
Vase	fins-fins 1	100	»	tr.
	arg. calc 99		»	»
Argile		»	»	75
Calcaire		»	»	25
		100		100

Ammoniaque totale = 208 mmg par kilog. (moyenne de 188 mmg en haut et 228 mmg en bas du boudin).

Caract. macrosc. humide. Vase gris-brun peu foncé, homogène, grain fin ; *sec :* teinte plus claire.

Caract. microsc. Amphibole; magnétite, biotite R, orthose A; cristal de quartz bipyramidé R, quartz, calcédoine A.

Obs. Plaquettes calcaires de couleur sépia, petites et rares. Grains de sable arrondis, très fins, uniformes (d. max. = 0.06 mm).

Station 1265

10 juin 1902.
12 milles S.-E. de Monaco.
Long tube sondeur Buchanan. Prof. = 2175 m.

Vase médiocrement calcaire.

Sable		1	après acide	tr.
Vase	fins-fins 2	99	»	1
	arg. calc 97		»	»
Argile		»	»	89
Calcaire		»	»	10
		100		100

Ammoniaque totale = 140 mmg par kilog.

Caract. macrosc. humide. Vase brune, homogène, grain fin; *sec :* nuance plus claire.

Caract. microsc. Foraminifères très rares et très petits; quelques fragments de coquilles.

Serpentine, magnétite A.

Biotite R, cordiérite R, orthose sale et quelquefois limpide A; quartz, calcédoine sale.

Obs. Sable en grains uniformes (d. max. = 0.06 mm).

Station 1268

24 juillet 1902. Lat. = 36° 06' N.
Environ 60 milles au S.-S.-E. du cap St.-Vincent. Long. = 7° 55' 45" W.
Long tube sondeur Buchanan. Prof. = 1473 m.

Vase médiocrement calcaire.

Sable		4	après acide		2
Vase	fins-fins	9	»		7
	arg. calc.	87	»		»
		96			
Argile		»	»		77
Calcaire		»	»		14
		100			100

Ammoniaque totale = 236 mmg par kilog.

Caract. macrosc. humide. Vase gris-brun, homogène, à grains fins et contenant quelques fragments de coquilles.

Caract. microsc. Foraminifères (Globigérines, Orbulines, etc.), Radiolaires R, spicules siliceux A.

Magnétite, chlorite (A dans les fins), silex avec inclusions noires.

Amphibole R, péridot, muscovite, biotite R (plus abondante dans les fins); orthose assez limpide; quartz; calcédoine.

Obs. Longueur du boudin = 300 mm, d. max. des grains = 0.1 mm.

Station 1282

26 juillet 1902.
Près du banc Joséphine.
Tube sondeur Buchanan.

Lat. = 36° 43' N.
Long. = 14° 00' 45" W.
Prof. = 2559 m.

Vase sableuse très calcaire.

Sable			20	après acide	0
Vase	fins-fins	5	80	»	tr.
	arg. calc.	75		»	»
Argile			»	»	37
Calcaire			»	»	63
			100		100

Ammoniaque totale = 102 mmg par kilog.

Caract. macrosc. humide. Vase gris-rosé homogène, à grains fins.
Caract. microsc. Foraminifères (Globigérines); Radiolaires et débris de Radiolaires A; spicules siliceux dont quelques uns sont très gros et comme perforés latéralement A.
Magnétite.
Amphibole, péridot?, orthose; quartz R.

Obs. d. max. = 0,1 mm; beaucoup de grains très fins.

Station 1285

26 juillet 1902.
A l'W. du banc Joséphine.
Tube sondeur Buchanan.

Lat. = 36° 43' N.
Long. = 14° 04' 45" W.
Prof. = 1860 m.

Vase très sableuse et très calcaire.

Sable		58	après acide	.....	tr.
Vase	fins-fins 7	42	»	.....	tr.
	arg. calc 35		»	.....	»
Argile		»	»	.....	31
Calcaire		»	»	.....	69
		100			100

Ammoniaque totale = 88 mmg. par kilog.

Caract. macrosc. humide. Vase gris-rose homogène, grenue, contenant des Foraminifères (Orbulines, etc.) et des fragments de coquilles nacrées.

Caract. microsc. Globigérines, Radiolaires; spicules siliceux dont quelques uns sont perforés.

Magnétite, palagonite rouge-brun foncé en écailles R; lamelles calcaires couleur sépia, magma basaltique R.

Amphibole, pyroxène avec inclusions de magnétite, feldspath, quartz.

Obs. Rares gros grains arrondis (d. max. = 0.08 mm); la presque totalité des grains minéraux sont très fins. Mousse pendant le dosage de CO^2. Longueur totale du boudin = 200 mm comprenant à partir du haut 30 mm Globigérines entières assez abondantes, puis 100 mm de vase fine. Les séparations des couches sont horizontales et l'aspect général du boudin parait indiquer l'existence de courants intermittents.

Station 1305

29 juillet 1902. Lat. = 37° 16' 30" N.
300 milles E. de São Miguel. Long. = 20° 11' 45" W.
Long tube sondeur Buchanan. Prof. = 4275 m.

Vase sableuse extrêmement calcaire et ponceuse.

Sable		33	après acide	.....	tr.
Vase	fins-fins 5	67	»	.....	tr.
	arg. calc 62		»	.....	»
Argile		»	»	.....	23
Calcaire		»	»	.....	77
		100			100

Ammoniaque totale = 51 mmg par kilog.

Caract. macrosc. humide. Vase gris-rose très clair, homogène, grains fins avec Foraminifères (Orbulines AA et Globigérines).

Caract. microsc. Radiolaires, spicules siliceux.

Magnétite, ponce AA, magma basaltique A, obsidienne verdâtre; palagonite verdâtre; plaques calcaires de couleur sépia qui sont peut-être d'origine animale.

Amphibole, pyroxène R, feldspath; quartz très fin R provenant peut-être de poussières du Sahara.

Obs. Grains très fins de diamètre moyen = 0.05 mm. — Mousse pendant le dosage de CO^2. — Longueur du boudin = 140 mm, uniforme sur toute sa longueur.

Station 1309

31 juillet 1902.
18 milles S.-S.-E. de S. Miguel, entre les Formigas et S. Miguel.
Long tube sondeur Buchanan.

Lat. = 37° 31' N.
Long. = 24° 54' 15" W.
Prof. = 2589 m.

Vase sableuse médiocrement calcaire, ponceuse.

Sable		46	après acide		47
Vase	fins-fins	13	»		12
	arg. calc	41	»		»
		54			
Argile		»	»		33
Calcaire		»	»		8
		100			100

Ammoniaque totale = 9 mmg par kilog.

Caract. macrosc. humide. Vase gris verdâtre assez foncé, homogène, un peu grenue.

Caract. microsc. Radiolaires R, Globigérines petites et R; spicules siliceux R.
Ponce AA (d = 2 mm), magma basaltique, palagonite jaune.
Amphibole brun-rouge, pyroxène, feldspath.

Obs. Grains minéraux (d. max. = 0.6 mm). Longueur totale du boudin = 300 mm comprenant à partir du haut : sable éparpillé, puis 220 mm vase verdâtre, subgrenue, compacte, puis 40 mm sable et enfin 40 mm vase. Séparations des couches parallèles, horizontales. Il en résulte la probabilité de l'existence de courants intermittents.

Station 1317

5 août 1902.
Fosse de l'Hirondelle.
Long tube sondeur Buchanan.

Lat. = 38° 06' N.
Long. = 26° 13' 45" W.
Prof. = 3018 m.

Vase sableuse calcaire ponceuse.

Sable		21	après acide	.....	12
Vase	fins-fins 24	79	»	.....	12
	arg. calc..... 55		»	.....	»
Argile		»	»	.....	42
Calcaire		»	»	.....	28
		100			100

Ammoniaque totale = 94 mmg par kilog.

Caract. macrosc. humide. Vase gris-verdâtre avec petits points noirs, homogène, subgrenue. Le boudin est parfaitement homogène sur toute sa longueur.

Caract. microsc. Foraminifères : Globigérines, Orbulines R, Radiolaires R; spicules siliceux R, Rhabdolithes; Coccolithes.

Ponce AA, obsidienne brun-verdâtre bulleuse présentant quelquefois des phénomènes de polarisation faible probablement dûs à des tensions; magma basaltique R.

Magnétite, amphibole verte R, pyroxène, biotite (?), péridot, feldspath.

Obs. Longueur du boudin = 410 mm.

Station 1320

6 août 1902. Lat. = 38° 09' N.
Fosse de l'Hirondelle. Long. = 26° 22' 45" W.
Long tube sondeur Buchanan. Prof. = 3010 m.

Vase sableuse médiocrement calcaire à obsidienne.

Sable		20	après acide	.....	17
Vase	fins-fins 27	80	»	.....	24
	arg. calc 53		»	.....	»
Argile		»	»	.....	43
Calcaire		»	»	.....	16
		100			100

Ammoniaque totale = 113 mmg par kilog.

Caract. macrosc. humide. Vase gris-verdâtre subgrenue; le sable est composé de matériaux volcaniques contenant des Orbulines et de rares Globigérines.

Caract. microsc. Foraminifères (Globigérines R, Orbulines); Radiolaires R; spicules siliceux R; Rhabdolithes; Coccolithes.

Obsidienne brune AA; ponce; magma basaltique R; palagonite ocreuse.

Magnétite, pyroxène, feldspath R.

Obs. Longueur du boudin = 280 mm : à partir du haut 80 mm vase, puis couche épaisse de 20 mm et oblique de sable noir volcanique, preuve de courants violents ou de pluie de matériaux volcaniques sur un sol bouleversé. Ce sable est un mélange de ponces et de scories en grains assez fins surtout ceux des scories. Le reste du boudin est de la vase semée de grains identiques à ceux du sable.

Station 1321

6 août 1902.
50 milles N. de São Miguel.

Lat. = 38° 39' N.
Long. = 25° 03' 45" W.
Prof. = 3020 m.

Vase sableuse très calcaire, ponceuse.

Sable			29	après acide	6
Vase	fins-fins	8	71	»	3
	arg. calc	63		»	»
Argile			»	»	22
Calcaire			»	»	69
			100		100

Ammoniaque totale = 46 mmg par kilog.

Caract. macrosc. humide. Vase gris-rosé, homogène, subgrenue, avec Globigérines et Orbulines abondantes et sable mélangé de ponce, de scories et de gros grains de feldspath cristallisé à inclusions de magnétite.

Caract. microsc. Radiolaires, Foraminifères, spicules siliceux.

Ponce AA; obsidienne brune; palagonite rouge-brique et jaune verdâtre.

Magnétite; pyroxène R; feldspath.

Obs. Longueur du boudin = 490 mm. Les vues microscopiques de la Pl. II (fig. 1 et 2) représentent le fond de la station 1321 en lumière naturelle et le résidu de minéraux après attaque à l'acide étendu, en lumière réfléchie, en lumière transmise naturelle et polarisée.

Station 1324

7 août 1902.
60 milles N. de São Miguel.
Long tube sondeur de 2 m.

Lat. = 38° 39' N.
Long. = 25° 04' 45" W.
Prof. = 3020 m.

Vase sableuse très calcaire, ponceuse.

Sable		26	après acide		5
Vase	fins-fins 8	74	»		3
	arg. calc. 66		»		»
Argile		»	»		20
Calcaire		»	»		72
		100			100

Ammoniaque totale = 89 mmg par kilog.

Caract. macrosc. humide. Vase gris-rosé clair, homogène, subgrenue, avec Orbulines très abondantes et quelques gros fragments (grains de blé) de ponce rougeâtre et blanche.

Caract. microsc. Foraminifères (Globigérines et autres), Radiolaires A, Rhabdolithes RR.

Ponce AA; obsidienne brune; palagonite amorphe rouge et jaune.

Magnétite; pyroxène; péridot; biotite R; feldspath.

Obs. Longueur du boudin = 490 mm.

Station 1329

9 août 1902. Lat. = 38° 40' N.
30 milles E. de Terceira. Long. = 26° 20' 45" W.
Tube sondeur Buchanan. Prof. = 1805 m.

Sable vaseux très calcaire, ponceux et feldspathique.

Sable		76	après acide		17
Vase	fins-fins 9	24	»		4
	arg. calc 15		»		»
Argile		»	»		9
Calcaire		»	»		70
		100			100

Ammoniaque totale = 100 mmg par kilog.

Caract. macrosc. humide. Vase gris-brun, homogène, grenue, contenant des Orbulines, des débris de coquilles et un Ptéropode (*Cleodora*). Les eaux de lavage provenant du triage mécanique sont rouges comme si on avait lavé de l'ocre.

Caract. microsc. Globigérines, Radiolaires R, spicules siliceux.

Ponce A, magma basaltique ou plutôt feldspath en cristaux avec grosses inclusions de magnétite; obsidienne verdâtre A; palagonite amorphe rouge et jaune.

Magnétite, amphibole, pyroxène, biotite R, feldspath en cristaux A; plagioclase en cristaux.

Obs. La portion médiane de ce boudin a été remise à M. Gabriel Bertrand pour y doser l'arsenic.

Station 1332

13 août 1902. Lat. = 39° 30' N.
55 milles NNW. de Fayal. Long. = 29° 02' 45" W.
Tube sondeur Buchanan. Prof. = 1900 m.

Vase sableuse très calcaire, basaltique.

Sable		21	après acide		3
Vase	fins-fins 7	79	»		2
	arg. calc. 72		»		»
Argile		»	»		26
Calcaire		»	»		69
		100			100

Ammoniaque totale = 94 mmg par kilog.

Caract. macrosc. humide. Vase gris-rosé, homogène, à grains fins avec Globigérines et Orbulines.

Caract. microsc. Foraminifères, Radiolaires, spicules siliceux.

Magma basaltique AA; ponce; obsidienne brune R; palagonite brune et jaune-verdâtre.

Magnétite, amphibole verte R et jaune R; pyroxène; biotite R; sanidine en gros cristaux, feldspath, plagioclase.

Obs. Longueur du boudin = 380 mm.

Station 1337

14 août 1902.
N. de Fayal, à 3 milles de terre.
Tube sondeur Buchanan.

Lat. = 38° 41' 30" N.
Long. = 28° 45' 15" W.
Prof. = 950 m.

Vase très sableuse, médiocrement calcaire, ponceuse, basaltique et à obsidienne avec 15 % de gravier.

Gravier..... 15					
Sable	gros..... 7	58	après acide..... 7	 6	51
	moyen..... 5		»	 4	
	fin 6		»	 35	
	très-fin 40		»		
Vase	fins-fins..... 21	42	»	.....	29
	arg. calc 21		»	.....	»
Argile.....		»	»	.....	13
Calcaire.....		»	»	.....	7
		100			100

Ammoniaque totale = 62 mmg par kilog.

Caract. macrosc. humide. Gravier de ponce et de basalte; vase gris-noirâtre foncé, grenue avec rares débris de coquilles; boudin à peine cohérent,

Caract. microsc. Globigérines R; Radiolaires; spicules siliceux.

Ponce très fine A, obsidienne AA; magma basaltique AA, palagonite amorphe rouge A et jaune verdâtre.

Magnétite, pyroxène, feldspath.

Obs. Longueur du boudin = 100 mm.

Station 1385

27 août 1902.
Au S. de Terceira et à l'W. de São Miguel.
Tube sondeur Buchanan.

Lat. = 37° 37' N.
Long. = 27° 16' 45" W.
Prof. = 2350 m.

Vase sableuse très calcaire, ponceuse et basaltique.

Sable		18	après acide		2
Vase	fins-fins 7	82	»		3
	arg. calc. 75		»		»
Argile		»	»		30
Calcaire		»	»		65
		100			100

Ammoniaque totale = 79 mmg par kilog.

Caract. macrosc, humide. Vase gris-brun, homogène, subgrenue avec Orbulines et fragments de ponce très attaqués.
Caract. microsc. Radiolaires, spicules siliceux.
Ponce, magma basaltique; palagonite rouge A et jaune R.
Amphibole R, pyroxène, péridot, biotite, feldspath, plagioclase.

Obs. Longueur du boudin = 160 mm.

Station 1387

27 août 1902. Lat. = 38° 02' N.
Entre S. Miguel et Terceira. Long. = 26° 31' 45" W.
Tube sondeur Buchanan. Prof. = 2224 m.

Vase sableuse calcaire à obsidienne et ponceuse.

Sable		14	après acide		5
Vase	fins-fins	12	»		6
	arg. calc	74	»		»
Argile		»	»		50
Calcaire		»	»		39
		100			100

Ammoniaque totale = 122 mmg par kilog.

Caract. macrosc. humide. Vase gris-noir subgrenue avec couche de sable épaisse de 20 à 30 mm, à mur et à toit irréguliers à 110 mm du haut; cette vase contient des Orbulines, de fins débris de ponce et deux grains de ponce ayant la dimension de grains de blé.

Caract. microsc. Globigérines, Radiolaires, spicules siliceux, Rhabdolithes, Coccolithes.

Obsidienne AA, ponce A, palagonite rouge R et jaune R.

Magnétite, pyroxène, biotite, feldspath.

Obs. Longueur du boudin = 360 mm. Le sable de la couche sableuse quoique en plus gros grains est composé des mêmes éléments que le sable fin disséminé dans la vase, savoir : Globigérines, Orbulines, obsidienne, ponce, palagonite, etc.

Station 1388

27 août 1902.
Entre S. Miguel et Terceira.
Tube sondeur Buchanan.

Lat. = 38° 05' 36" N.
Long. = 26° 25' 45" W.
Prof. = 1964 m.

Vase sableuse calcaire à obsidienne et à ponce.

Sable			24	après acide	11
Vase	fins-fins 16	77	»	»	9
	arg. calc. 61		»	»	»
Argile			»	»	33
Calcaire			»	»	47
			100		100

Ammoniaque totale = 96 mmg par kilog.

Caract. macrosc. humide. Vase gris-noir, homogène et subgrenue contenant Globigérines, Orbulines, spicules, fragments de ponce roulés gros comme des lentilles, palagonite rouge, sanidine.

Caract. microsc. Radiolaires, spicules siliceux, Rhabdolithes, Coccolithes.

Obsidienne A et ponce A en proportion à peu près égale, magma basaltique, palagonite rouge.

Magnétite, amphibole verte R, péridot, feldspath.

Station 1389 (haut)

27 août 1902.
Fosse de l'Hirondelle.
Tube sondeur Buchanan.

Lat. = 38° 07' 30" N.
Long. = 26° 22' 45" W.
Prof. = 2900 m.

Vase sableuse calcaire à obsidienne et à ponce.

Sable			17	après acide	9
Vase	fins-fins	12	83	»	10
	arg. calc	71		»	»
Argile			»	»	45
Calcaire			»	»	36
			100		100

Ammoniaque totale = 96 mmg par kilog.

Caract. macrosc. humide. Vase granuleuse gris-noir foncé contenant des Orbulines et quelques grains de ponce gros comme de petites lentilles.

Caract. microsc. Radiolaires R, spicules siliceux A, Rhabdolithes, Coccolithes.

Obsidienne brune AA, ponce dont quelques gros grains sont arrondis, magma basaltique, palagonite rouge et jaune R.

Magnétite, péridot, feldspath R, sanidine.

Obs. L'argile n'est presque uniquement composée que de grains minéraux de la plus extrême finesse.

Station 1389 (bas)

27 août 1902.
Fosse de l'Hirondelle.
Tube sondeur Buchanan.

Lat. = 38° 07' 30" N.
Long. = 26° 22' 45" W.
Prof. = 2900 m.

Vase très sableuse médiocrement calcaire à obsidienne.

Sable		52	après acide		54
Vase	fins-fins 10	48	»		9
	arg. calc 38		»		»
Argile		»	»		26
Calcaire		»	»		11
		100			100

Ammoniaque totale = 48 mmg par kilog.

Caract. macrosc. humide. Vase gris-noirâtre, homogène, grenue avec grains de sanidine.

Caract. microsc. Grains notablement plus gros que dans le haut du boudin.

Radiolaires R, Rhabdolithes; Coccolithes.

Obsidienne brune AA, ponce R, quelques fragments anguleux de ponce, obsidienne jaunâtre, palagonite rouge.

Magnétite, amphibole R, péridot, feldspath.

Obs. Le bas du boudin est à 190 mm du haut. L'argile est à peu près uniquement composée de grains minéraux. La présence des Rhabdolithes et des Coccolithes presque en aussi grande quantité en haut et au bas du boudin (190 mm plus bas) prouve la non dissolution de particules calcaires aussi menues dans l'eau ambiante.

Station 1390

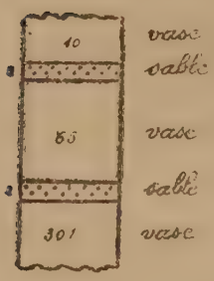
28 août 1902. Lat. = 37° 59' N.
Fosse de l'Hirondelle. Long. = 26° 04' 15" W.
Tube sondeur Buchanan. Prof. = 3150 m.

Vase sableuse médiocrement calcaire à ponce et à obsidienne.

Sable		22	après acide		19
Vase	fins-fins 19	78	»		25
	arg. calc 59		»		»
Argile		»	»		41
Calcaire		»	»		15
		100			100

Ammoniaque totale = 83 mmg par kilog.

Caract. macrosc. humide. Vase gris-noirâtre assez foncée, grenue, contenant quelques rares Orbulines et quelques grains de ponce ayant la dimension de petites lentilles.



Après passage à l'acide, le sable contient : ponce, obsidienne, palagonite rouge, sanidine.

Caract. microsc. Radiolaires R, spicules siliceux, Rhabdolithes, Coccolithes.

Ponce AA; obsidienne A; palagonite rouge brique.

Magnétite, amphibole verte R, pyroxène, biotite, feldspath.

Obs. Longueur du boudin = 380 m, avec deux couches de sable horizontales intercalée dans la vase.

Station 1391

28 août 1902.
Fosse de l'Hirondelle.
Tube sondeur Buchanan.

Lat. = 38° 02' 30" N.
Long. = 26° 06' 45" W.
Prof. = 3075 m.

Vase sableuse médiocrement calcaire ponceuse et à obsidienne.

Sable			25	après acide	22
Vase	fins-fins	18	75	»	19
	arg. calc	57		»	»
Argile			»	»	42
Calcaire			»	»	17
			100		100

Ammoniaque totale = 78 mmg par kilog.

Caract. macrosc. humide. Vase sableuse gris-brun, homogène, grenue; à 190 mm du haut du boudin celui-ci ne renferme plus que du sable fin contenant des Globigérines R, des Orbulines et de la ponce en grains arrondis gros comme des lentilles. Passé à l'acide, le sable montre de la ponce, du mica et de la palagonite.

Caract. microsc. Radiolaires, spicules siliceux, Rhabdolithes R, Coccolithes R.
Ponce AA, obsidienne A, palagonite rouge R.
Magnétite, amphibole brune R, pyroxène, biotite R, feldspath.

Obs. Longueur du boudin = 280 mm; le haut est compacte, le bas, à 190 mm du sommet, est du sable fin.

Station 1396

28 août 1902. Lat. = 38° 07' N.
Fosse de l'Hirondelle. Long. = 26° 07' 15" W.
Tube sondeur Buchanan. Prof. = 962 m.

Vase très sableuse, très calcaire, basaltique.

Sable		52	après acide		11
Vase	fins-fins 1	48	»	3	
	arg. calc 47		»	»	
Argile		»	»	31	
Calcaire		»	»	55	
		100			100

Ammoniaque totale = traces.

Caract. macrosc. humide. Vase gris-rosé, homogène, grenue. La partie sableuse contient beaucoup d'Orbulines rouges et gris-verdâtre; passée à l'acide, elle est rougeâtre, scoriacée et laisse distinguer de rares cristaux de sanidine attaquée.

Caract. microsc. Radiolaires R, pas de Rhabdolithes ni de Coccolithes.

Magma basaltique A, ni obsidienne, ni ponce en quantité appréciable; palagonite rouge brique R.

Magnétite, amphibole verte et amphibole brune, pyroxène, feldspath, plagioclase R.

Obs. L'absence de l'obsidienne et de la ponce tendraient à prouver la non-existence de vastes pluies volcaniques aériennes qui n'auraient pas manqué de distribuer uniformément les débris volcaniques.

Station 1404

1er septembre 1902.
Fosse de l'Hirondelle.
Tube sondeur Buchanan.

Lat. = 37° 58' N.
Long. = 26° 05' 45" W.
Prof. = 3215 m.

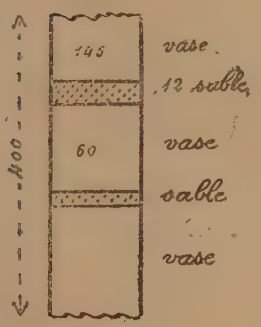
Vase sableuse médiocrement calcaire à obsidienne.

Sable			18	après acide	14
Vase	fins-fins	15	82	»	19
	arg. calc	67		»	»
Argile			»	»	48
Calcaire			»	»	47
			100		100

Ammoniaque totale = 92 mmg par kilog.

Caract. macrosc. humide. Vase gris-verdâtre foncé tantôt fine et tantôt grenue par places, contenant des fragments de coquilles nacrées, des Orbulines R et des grains de ponce gros comme du millet. — Le sable passé à l'acide renferme des spicules siliceux, obsidienne AA, ponce, magnétite AA, amphibole verte, pyroxène, feldspath.

Caract. microsc. Radiolaires, spicules siliceux, Rhabdolithes R, Coccolithes RR. Obsidienne AA, ponce A, palagonite brique R. Magnétite, pyroxène, feldspath.



Obs. Longueur du boudin = 400 mm, à partir du haut 145 de vase, puis 12 de sable noir avec ponce, puis 60 de vase, puis mince couche de sable très fin qui n'est que le sable de la masse débarrassé des matières argileuses légères et correspondant probablement à un courant volcanique faible. Dans le boudin, bandes argileuses rouges irrégulièrement disposées et impossibles à isoler bien que l'œil les distingue parfaitement. Cet échantillon est caractéristique pour la théorie des courants volcaniques rasant le sol et producteurs des raz-de-marée. L'argile rouge résulterait du dépôt fait au sein des eaux des parties les plus légères des fonds troublés par le passage du courant et rendus ensuite au repos.

Station 1405

2 septembre 1902. Lat. = 37° 54' N.
Fosse de l'Hirondelle. Long. = 26° 05' 45" W.
Tube sondeur Buchanan. Prof. = 3202 m.

Vase sableuse médiocrement calcaire ponceuse et à obsidienne.

Sable		18	après acide		11
Vase	fins-fins 25	82	»		16
	arg. calc 57		»		»
Argile		»	»		52
Calcaire		»	»		21
		100			100

Ammoniaque totale = 67 mmg par kilog.

Caract. macrosc. humide. Vase gris-noirâtre fine avec sable volcanique contenant de rares Foraminifères; ce sable, après passage à l'acide, est surtout constitué par de la ponce et de rares fragments de sanidine.

Caract. microsc. Radiolaires R, spicules siliceux; Rhabdolithes R, Coccolithes R, R.

Ponce A, obsidienne, magma basaltique R, palagonite brique R.

Magnétite, amphibole brune R, pyroxène R, feldspath.

Obs. Longueur du boudin = 360 mm. L'échantillon offre un grand intérêt; il a été récolté à environ 11 milles NW. du point où l'île Sabrina apparut et disparut en 1811.

a b = 22 mm. Argile sableuse gris-noir noyant des grains noirs et de gros grains roulés de ponce très compacte; ces derniers augmentent de grosseur depuis le haut à mesure qu'on se rapproche de *b*, preuve de la diminution de vitesse du courant à la fin de l'éruption.

b c = 138 mm. Sable noir avec gros grains de ponce roulés; le mur de la couche est très irrégulier, le bas beaucoup plus riche en grains noirs, le haut en grains ponceux.

d e = 40 mm. Vase assez peu sableuse avec enduit noir d'encre qui traité par HCl donne naissance à un abondant dégagement de H^2S; de *d* en *e*, les taches noires diminuent d'intensité jusqu'à finir par cesser d'exister. Depuis *f* jusqu'au milieu de *d c*, filets d'argile rouge s'anastomosant entre eux et noyés dans la vase sableuse gris-noir.

De *g* jusqu'au bas du boudin, sur une dizaine de millimètres de longueur, enrichissement de la vase en sable très fin et nombreux cristaux microscopiques de fer spéculaire.

Une section du boudin vers *f* montre des taches noires qui semblent correspondre à des bouffées de H^2S.

L'enrichissement en ponce dans le haut de *b c* prouve le ralentissement du courant volcanique après la première violence de son début qui lui ayant d'abord permis d'entraîner les minéraux lourds, ne lui laisse plus chasser ensuite que les ponces légères. Le courant agit donc par lavage et par poussée.

Le sable en *b c* est un mélange de ponce et de pierre noire. Un grain de celle-ci isolé et pulvérisé donne de l'obsidienne noire, du verre basaltique, pyroxène, magnétite et feldspath. Certains cristaux examinés en lumière polarisée manifestent les anneaux et la croix noire ou blanche selon que les nicols sont croisés ou parallèles c'est-à-dire des phénomènes analogues à ceux de cristaux uniaxes. Ces phénomènes se produisent pour des cristaux de feldspath et des obsidiennes, preuve probable de la tension résultant d'un étonnement. Ces effets sont rarement observés dans les fonds marins et leur production est due à l'extrême voisinage de l'île Sabrina et du centre de l'éruption volcanique.

On reconnaît souvent qu'un même fragment d'obsidienne polarise et ne polarise pas, passe au feldspath et au magma basaltique, quelquefois au péridot et par degrés insensibles, preuves frappantes de liquations diverses brusquement arrêtées dans leurs manifestations.

La comparaison des échantillons Stn. 1405 et Stn. 1404 paraît indiquer que l'éruption venait du sud.

Station 1406

3 septembre 1902. Lat. = 38° 01' 30" N.
Fosse de l'Hirondelle. Long. = 26° 16' 45" W.
Tube sondeur Buchanan. Prof. = 2755 m.

Vase calcaire ponceuse et à obsidienne.

Sable			10	après acide	4
Vase	fins-fins	16	90	»	50
	arg. calc	74		»	«
Argile			»	»	7
Calcaire			»	»	39
			100		100

Ammoniaque totale = 141 mmg par kilog.

Caract. macrosc. humide. Vase gris-rosé, homogène, fine.

Caract. microsc. Globigérines, Radiolaires A, spicules siliceux R, Rhabdolithes R, Coccolithes RR.

Ponce AA, obsidienne brune A, magma basaltique.

Magnétite, pyroxène (?). péridot, feldspath.

Station 1410

5 septembre 1902.
Au N. de Fayal, sur l'emplacement supposé du banc Chaucer.
Tube sondeur Buchanan.

Lat. = 42° 24' N.
Long. = 28° 14' 45" W.
Prof. = 2750 m.

Vase sableuse extrêmement calcaire.

Sable			16	après acide	1
Vase	fins-fins	5	84	»	1
	arg. calc	79		»	»
Argile			»	»	18
Calcaire			»	»	80
			100		100

Ammoniaque totale = 70 mmg par kilog.

Caract. macrosc. humide. Vase gris-rosé homogène fine contenant des Orbulines AA, quelques débris de coquilles minces et des spicules.
Caract. microsc. Radiolaires A, spicules siliceux A, Rhabdolithes A, Coccolithes.
Ponce, obsidienne R, palagonite brique R.
Magnétite, amphibole verte, péridot, feldspath.

Obs. Longueur du boudin = 345 mm. — Mousse très abondante dans le dosage de CO^2. Après acide, le sable laisse une argile très rouge qui semble caractériser les régions les plus éloignées des centres d'éruption parce qu'étant la portion la plus fine des produits d'oxydation et par conséquent la plus légère, elle est transportée le plus loin par les courants.

Station 1415

5 septembre 1902. Lat. = 42° 50' N.
Près du banc Chaucer (supposé). Long. = 28° 37' 45" W.
Tube sondeur Buchanan. Prof. = 2485 m.

Vase très sableuse extrêmement calcaire.

Sable		68	après acide		12
Vase	fins-fins 3	32	»		1
	arg. calc 29		»		»
Argile		»	»		6
Calcaire		»	»		81
		100			100

Ammoniaque totale = 71 mmg par kilog.

Caract. macrosc. humide. Vase gris-rosé, homogène, grenue, devenant de plus en plus fine à mesure qu'on se rapproche du bas du boudin, complètement fine à 100 mm du haut.

Le sable contient des Globigérines petites et R, des Orbulines et autres Foraminifères abondants et de très petites coquilles.

Le sable après acide contient spicules siliceux, quelques grains de gravier constitué par de la calcédoine rouge, grains basaltiques, ponce très roulée R, calcédoine blanche, quartz très fin.

Caract. microsc. Radiolaires, spicules siliceux, Rhabdolithes qui semblent vertes, Coccolithes.

Ponce R, obsidienne RR.

Magnétite, actinote A, péridot ou pyroxène, feldspath, plagioclase, quartz.

Obs. Longueur du boudin = 175 mm. Les gros grains des fins-fins sont très roulés.

Station 1419

6 septembre 1902. Lat. = 42° 53' N.
Près du banc Chaucer (supposé). Long. = 28° 30' 45" W.
Tube sondeur Buchanan. Prof. = 2460 m.

Vase sableuse extrêmement calcaire.

Sable		34	après acide		8
Vase	fins-fins 4	66	»		1
	arg. calc 62		«		»
Argile		»	»		10
Calcaire		»	»		81
		100			100

Ammoniaque totale = 65 mmg par kilog.

Caract. macrosc. humide. Vase gris-rosé homogène, fine.

Sable : Orbulines AA, Globigérines rares et petites, débris de coquilles nacrées, un gros grain et plusieurs petits grains basaltiques.

Sable après acide : spicules siliceux, ponce très roulée, actinote, calcédoine, quartz.

Caract. microsc. Radiolaires, spicules siliceux AA, Rhabdolithes, Coccolithes.

Ponce R, obsidienne R, magma basaltique, silex.

Magnétite, actinote A, péridot ou pyroxène, feldspath A, quartz.

Obs. Longueur du boudin = 160 mm.

Station 1424

6 septembre 1902.
Près du banc Chaucer (supposé).
Tube sondeur Buchanan.

Lat. = 42° 57' N.
Long. = 28° 21' 45" W.
Prof. = 2180 m.

Vase très sableuse extrêmement calcaire.

Sable		72	après acide		13
Vase	fins-fins 2	28	»		1
	arg. calc 26		»		»
Argile		»	»		5
Calcaire		»	»		81
		100			100

Ammoniaque totale = 46 mmg par kilog.

Caract. macrosc. humide. Vase gris-rosé, grenue en haut du boudin, devenant de plus en plus fine en descendant, à partir de 30 mm du haut.

Sable : Globigérines, Orbulines et autres formes de Foraminifères, nombreux *Cleodora* entiers et en débris, piquants calcaires abondants, grains noirs basaltiques.

Sable après acide : spicules siliceux, grains basaltiques, actinote, calcédoine rouge, quartz limpide.

Caract. microsc. Radiolaires, spicules siliceux, Rhabdolithes, Coccolithes R.

Ponce R, obsidienne R, magma basaltique, palagonite brique R.

Magnétite R, actinote A, feldspath, quartz.

Obs. Longueur du boudin = 180 mm. La considération des trois stations 1415, 1419 et 1424, sondage et nature du fond, autorise à douter fortement de l'existence des bancs Chaucer et Henderson.

Station 1427

9 septembre 1902.
Entre les Açores et le cap Finisterre.
Tube sondeur Buchanan.

Lat. = 43° 07' N.
Long. = 19° 43' 15" W.
Prof. = 5943 m.

Vase calcaire.

Sable			3	après acide	1
Vase	fins-fins	1	97	»	1
	arg. calc.	96		»	96
Argile			»	»	55
Calcaire			»	»	44
			100		100

Ammoniaque totale = 88 mmg par kilog.

Caract. macrosc. humide. Vase argileuse rouge, homogène, très fine.
Sable : Foraminifères (Orbulines et autres) R.
En traitant le sable par HCl, dégagement de chlore.
Caract. microsc. Pas de Rhabdolithes ni de Coccolithes.
Magma basaltique R, palagonite jaune.
Actinote, feldspath R, quartz.

Obs. Longueur du boudin = 160 mm.

Station 1432

10 septembre 1902. Lat. = 43° 08' 30" N.
Entre les Açores et le cap Finisterre. Long. = 19° 51' 45" W.
Tube sondeur de 2 mètres. Prof. = 5930 m.

Vase calcaire.

Sable			2	après acide	tr.
Vase	fins-fins	1	98	»	tr.
	arg. calc	97		»	»
Argile			»	»	64
Calcaire			»	«	36
			100		100

Ammoniaque totale = 133 mmg par kilog.

Caract. macrosc. humide. Vase argileuse rougeâtre, homogène, fine avec Orbulines A et Globigérines R.

Caract. microsc. Radiolaires, Rhabdolithes R, Coccolithes.

Ponce R, magma basaltique R, palagonite jaune, actinote, feldspath R, quartz.

IV. — TABLEAUX DES DENSITÉS D'EAUX DE MER

PRISES EN 1892-1899

PAR MM. W.-S. BRUCE, J.-Y. BUCHANAN ET Dr J. RICHARD

Les tableaux suivants contiennent les densités prises par MM. W. S. Bruce, Buchanan, et J. Richard, à bord de la *PRINCESSE-ALICE*, du 22 août 1892 au 7 septembre 1899, de la station 517 à la station 1069. Les mesures ont été exécutées à la mer, à l'aide d'aréomètres de précision du modèle employé à bord du *CHALLENGER* et auxquels j'ai fait subir quelques légères modifications[1]. Pour chacune d'elles, on avait noté la température *in situ* θ et la température t pendant la mesure. La valeur énoncée était $S\frac{t}{4}$. Je me suis borné à mettre en ordre ces observations et afin de les rendre comparables à celles que j'ai moi-même données dans la suite[2], à calculer, pour le $S\frac{t}{4}$ fourni, les valeurs de S°, de $S\frac{\theta}{4}$ et de $n\,S\frac{\theta}{4}$. Pour cette dernière, je me suis servi de la table insérée dans mon traité d'océanographie[3]. Ces listes commencent la série de toutes les densités prises pendant les campagnes du Prince de Monaco et elles servent d'introduction à celles que j'ai publiées dans le fascicule XXII des publications du Prince.

Les valeurs des densités prises en Méditerranée pendant les mois d'août et de septembre 1892 par M. Buchanan, ont été extraites des Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences, T. CXVI, 1, p. 1321, 5 juin 1893.

Les densités exprimées par les observateurs en $S\frac{t}{4}$, c'est-à-dire à la température t pendant la mesure, ont été ramenées graphiquement à $S\frac{0}{4}$ et à $S\frac{\theta}{4}$. Les expériences

[1] J. Thoulet. *Note sur l'aréomètre et le thermomètre destinés aux observations océanographiques.* Bulletin de la Société de Géographie de Paris, T. XII, p. 362-376. 1891.

J. Thoulet. *De l'utilité de la mesure des densités en océanographie et d'un nouveau modèle d'aréomètre à eau de mer.* Bulletin des pêches maritimes, T. III, p. 696. Mars 1895.

[2] J. Thoulet. *Etude des échantillons d'eaux et de fonds récoltés pendant la campagne du yacht PRINCESSE-ALICE dans l'Atlantique nord en 1901.* Résultats des campagnes scientifiques accomplies sur son yacht, par Albert Ier, Prince Souverain de Monaco, publiés sous sa direction avec le concours de M. Jules Richard, Docteur ès-sciences, chargé des travaux zoologiques à bord, fascicule XXII. Monaco, 1902.

[3] J. Thoulet. *Océanographie (statique)*, p. 361.

ayant servi à construire le graphique et le graphique lui-même ont été publiés[1]. Celui-ci a été corrigé d'après les « Hydrographische Tabellen »[2], conformément aux décisions des Congrès internationaux de Stockholm en 1899 et de Christiania en 1901; on en trouvera des exemplaires à Paris[3].

On se rappellera que S_4^θ indique la densité, par rapport à l'eau distillée à 4°, de l'eau de mer à la température expérimentale t.

S_4° est la densité de l'eau de mer à la température de la glace fondante. Cette donnée fixe pour ainsi dire la constitution, la personnalité même de l'échantillon considéré et permet de le suivre dans sa marche au sein de la masse des eaux océaniques. C'est une donnée statique et non pas dynamique. La réduction à n'importe quelle température normale rendrait les mêmes services pourvu qu'elle fût d'un emploi général. Le choix de la température de la glace fondante résulte de l'extrême facilité qu'il y a à obtenir expérimentalement cette température tandis que la conservation certaine de toute autre température constante pendant la durée prolongée d'une suite de mesures, offre au contraire d'assez grandes difficultés.

S_4^θ est la densité de l'échantillon à la température *in situ* θ.

Enfin $n\,S_4^\theta$ est la densité de cet échantillon non seulement à la température *in situ* θ, mais corrigée de la compression s'exerçant à la profondeur de n mètres où il se trouvait au-dessous de la surface. Si l'échantillon a été recueilli à la surface même $S_4^\theta = n\,S_4^\theta$. On a adopté pour coefficient de compressibilité la valeur 0.0000046614 de sorte que la correction de compressibilité est fournie par la formule

$$n\,S_4^\theta = S_4^\theta\,(1 + 0.0000046614\,n)$$

Cette donnée est la véritable donnée dynamique servant à dresser les cartes par courbes isopycnes destinées elles-mêmes à rendre compte de l'économie de la circulation océanique[4].

[1] J. Thoulet. *Détermination de la densité de l'eau de mer*. Résultats du voyage du *S. Y. BELGICA* en 1897, 1898 et 1899. Rapports scientifiques publiés aux frais du Gouvernement belge, sous la direction de la commission de la *BELGICA*. Anvers. Buchanan. 1901.

[2] *Hydrographische Tabellen*, nach den Messungen von Carl Forch, J.-P. Jacobsen, Martin Knudsen und S.-P.-L. Sørensen und unter Behülfe von Biörn-Andersen, H.-J. Hansen, J.-N. Nielsen, B. Trolle, Alfred Wöhlk, u. a., herausgegeben von Martin Knudsen. — Kopenhagen. G.-E.-C. Gad — Hamburg. L. Friedrichsen und C°. 1901.

[3] V. Chabaud; Thurneyssen successeur. Instruments pour les sciences, rue Monsieur-le-Prince 58. Paris.

[4] J. Thoulet. *Océanographie statique*, p. 352 et *La circulation océanique*, Revue scientifique, T. 17, 4e série, p. 545. 3 mai 1902.

Station	Date	Latitude N.	Longitude (Greenwich)	Profondeur m.	θ *in situ*	t pendant la mesure	S^{t}_{4}	S^{o}_{4}	S^{θ}_{4}	$n\,S^{\theta}_{4}$	Observateur	Observations
	22 août 1892	45°03'	6°26' 50" W.	surf.	19.1	20.0	1.02540	1.02880	1.02565	1.02565	Buchanan	Golfe de Gascogne
	—	45 28 05"	6 53 52	—	19.5	20.2	539	2885	558	2558	—	—
	23 août	44 29	7 46 45	—	19.4	20.8	528	2887	567	2567	—	—
	24 août	42 38	9 33 45	—	17.1	20.6	529	2886	621	2621	—	W. du cap Finisterre
	—	42 09	8 52 50	—	17.4	20.6	528	2885	612	2612	—	—
	—	42 13 25	8 42 50	—	18.8	20.7	521	2882	570	2570	—	—
	25 août	41 34	9 06 45	—	17.1	20.9	523	2889	625	2625	—	W. de Porto
	26 août	39 57 05	9 29 45	—	18.9	20.5	546	2899	587	2587	—	W. de Lisbonne
	—	—	—	—	18.9	20.5	548	2901	591	2591	—	—
	—	39 25	9 37 45	—	18.2	21.0	533	2900	608	2608	—	—
	—	—	—	—	18.2	20.6	547	2902	610	2610	—	—
	—	38 47 25	9 31 45	—	16.1	20.9	539	2904	663	2663	—	—
	—	38 33 05	9 24 45	—	16.5	21.1	530	2898	650	2650	—	W. de Setubal
	27 août	36 50 05	8 35 45	—	19.4	20.5	567	2921	595	2595	—	S. du cap Saint-Vincent
	—	36 43	8 12 45	—	21.7	22.3	551	2955	567	2567	—	—
	—	36 36	7 37 10	—	22.9	22.8	534	2952	531	2531	—	S. du Portugal
	—	36 30	7 19 50	—	22.4	23.3	520	2953	546	2546	—	—
	28 août	36 03	5 47 50	—	21.1	23.6	505	2948	578	2578	—	Détroit de Gibraltar
	—	36 01	5 31 10	—	18.1	23.1	522	2950	658	2658	—	—
	—	36 04	5 21 52	—	17.4	23.6	517	2958	685	2685	—	S. de Gibraltar
	29 août	36 09	5 04 50	—	17.4	23.1	511	2939	665	2665	—	E. de Gibraltar
	—	36 28	3 51 45	—	22.4	24.5	476	2946	540	2540	—	SE. de Malaga
	30 août	36 39	2 07 45	—	23.4	24.3	551	3017	578	2578	—	S. d'Almeria
	—	—	—	—	23.4	25.6	555	3061	619	2619	—	—
	—	37 04 05	1 23 45	—	23.1	24.2	519	2980	552	2552	—	SW. de Carthagène
	—	38 28 05	0 45 15 E.	—	24.7	24.7	549	3028	549	2549	—	W. de Formentera
	31 août	38 40	0 21 15	—	24.9	24.8	566	3047	562	2562	—	W. d'Iviça
	—	39 11	0 43 15	—	25.0	25.4	558	3059	578	2578	—	—
	—	39 35	0 59 15	—	25.4	25.8	549	3062	561	2561	—	W. de Majorque
	—	—	—	—	25.4	23.7	617	3065	565	2565	—	—
	—	—	—	—	25.4	21.3	777	3057	555	2555	—	—
	—	39 51	1 10 40	—	24.9	23.7	619	3062	584	2584	—	—
	1er septembre	40 47	1 51 15	—	24.1	23.7	597	3032	585	2585	—	NW. de Majorque

Station	Date	Latitude N.	Longitude (Greenwich)	Profondeur m.	θ *in situ*	t pendant la mesure	S^{t}_{4}	S^{o}_{4}	S^{θ}_{4}	$n\,S^{\theta}_{4}$	Observateur	Observations
	1er sept. 1892	40°47'	1°51'15" E.	surf.	24.1	20.9	1.02675	1.03044	1.02585	1.02585	Buchanan	NW. de Majorque
	2 sept.	42 11	4 10 15	—	21.4	23.5	623	3065	683	2683	—	E. du cap Creus
	—	—	—	—	21.4	23.9	611	3065	677	2677	—	—
	—	42 38	5 31 15	—	22.4	21.2	706	3084	673	2673	—	S. de Marseille
	3 sept.	43 25	7 10 15	—	22.9	21.2	701	3079	653	2653	—	S. de Nice
	25 sept.	42 56 03"	8 58 15	—	21.3	24.2	504	2964	590	2590	—	N. de la Corse
	—	—	—	—	13.1	24.3	605	3070	889	2889	—	—
	—	—	—	—	13.4	24.6	632	3108	920	2920	—	—
	—	—	—	—	13.1	24.7	623	3102	920	2920	—	—
	26 sept.	—	—	—	13.1	24.2	634	3097	916	2916	—	—
	—	43 25	6 50 15	—	21.9	24.8	599	3082	684	2684	—	S. des îles d'Hyères
	—	—	—	—	17.7	24.8	590	3074	785	2785	—	—
	—	—	—	—	14.0	24.7	582	3060	861	2861	—	—
517	22 juin 1895	38 35	15 04 45 W.	—	18.65	22.2	527	2929	622	2622	Richard	Entre le Portugal et les Açores
531	26 juin	37 52	24 42 45	—	20.0	22.62	476	2889	550	2550	—	Açores
—	—	—	—	2178	3.8	22.57	406	2812	780	3823	—	—
572	13 juillet	38 27	26 30 45	surf.	22.0	23.95	429	2879	486	2486	—	—
—	—	—	—	1165	6.8	24.22	391	2850	777	3335	—	—
580	15 juillet	38 26	26 38 15	surf.	21.7	24.15	424	2880	494	2494	—	—
—	—	—	—	2139	5.0	24.05	378	2830	782	3797	—	—
586	18 juillet	38 36 40	27 17 15	surf.	19.8	24.07	435	2891	556	2556	—	—
—	—	—	—	793	9.7	24.05	390	2840	776	3155	—	—
590	20 juillet	38 34 15	27 11 45	surf.	20.0	24.45	388	2853	515	2515	—	—
605	27 juillet	38 26 35	28 33 15	—	21.6	23.55	441	2910	497	2497	—	—
—	—	—	—	682	9.5	23.75	394	2835	775	3102	—	—
606	—	38 25 50	28 34 15	surf.	21.0	23.52	448	2889	520	2520	—	—
608	28 juillet	37 45	28 28 45	—	22.0	23.87	450	2901	507	2507	—	—
—	—	—	—	2198	3.9	23.45	383	2821	780	3833	—	—
612	29 juillet	38 26 40	28 40 05	surf.	21.8	23.65	453	2896	507	2507	—	—
—	—	—	—	778	9.5	23.65	413	2853	792	3165	—	—
615	1er août	38 47 40	28 17 05	surf.	21.75	23.65	431	2872	487	2487	—	—
—	—	—	—	1022	7.8	23.62	390	2829	778	3267	—	—
617	—	38 52 45	28 06 00	surf.	22.0	23.8	437	2885	490	2490	—	—

Station	Date	Latitude N.	Longitude (Greenwich)	Profondeur m.	θ *in situ*	t pendant la mesure	S_4^t	S_4^o	S_4^θ	$n S_4^\theta$	Observateur	Observations
617	1er août 1895	38° 52' 45"	28° 06' 00" W.	1143	6.6	23.8	1.02346	1.02787	1.02719	1.03265	Richard	Açores
623	4 août	38 59	28 18 05	surf.	22.0	23.72	439	2885	488	2488	—	—
—	—	—	—	2102	4.6	23.8	371	2812	770	3777	—	—
629	12 août	48 12	11 25 15	surf.	16.5	21.7	473	2858	605	2605	—	S. de l'Irlande
647	22 juin 1896	36 54	20 46 15	—	20.2	21.9	508	2902	556	2556	—	E. des Açores
—	—	—	—	4400	3.0	21.9	416	2802	775	4882	—	—
651	23 juin	36 55	22 22 45	surf.	20.4	22.0	512	2908	557	2557	—	—
—	—	—	—	4261	3.0	22.1	406	2793	772	4271	—	—
653	24 juin	36 58 30	24 58 15	surf.	21.6	21.9	514	2908	523	2523	—	Açores
—	—	—	—	1495	5.2	21.6	520	2906	857	3573	—	—
659	26 juin	37 37 40	25 37 45	surf.	21.7	22.1	500	2899	510	2510	—	—
662	27 juin	37 28 30	25 31 45	—	21.2	22.0	498	2894	521	2521	—	—
—	—	—	—	1732	4.5	22.1	420	2812	771	3600	—	—
675	6 juillet	37 57	27 47 45	surf.	22.2	20.5	538	2892	492	2492	—	—
—	—	—	—	1748	4.7	20.6	450	2800	758	3595	—	—
695	17 juillet	38 23	30 13 45	surf.	23.1	20.6	540	2897	470	2470	—	—
—	—	—	—	2540	5.5	20.7	460	2814	761	3978	—	—
711	24 juillet	39 39 40	31 00 55	surf.	24.0	20.4	540	2891	438	2438	—	—
—	—	—	—	1424	5.3	20.5	470	2820	768	3450	—	—
747	16 août	38 54	21 16 45	surf.	21.5	20.3	556	2908	523	2523	—	E. des Açores
—	—	—	—	5005	3.0	20.5	440	2789	762	5159	—	—
772	18 juin 1897	35 06	7 07 45	surf.	22.2	22.3	511	2917	514	2514	—	Côte W. du Maroc
—	—	—	—	930	10.0	22.3	521	2925	807	3252	—	—
777	22 juin	33 58	8 38 45	surf.	22.0	22.2	530	2931	536	2536	—	—
—	—	—	—	2225	4.3	22.4	405	2805	766	3831	—	—
787	27 juin	32 36	14 27 15	surf.	20.7	22.1	515	2914	553	2553	—	E. de Madère
—	—	—	—	4360	2.7	22.1	409	2801	778	4866	—	—
808	6 juillet	32 36 25	16 48 25	surf.	22.2	22.1	534	2934	531	2531	—	Près de Funchal (Madère)
—	—	—	—	710	11.0	22.0	448	2841	705	3044	—	—
820	11 juillet	30 48	25 18 15	surf.	23.5	22.6	554	2957	526	2526	—	NW. des Canaries
—	—	—	—	5440	3.6	22.3	395	2793	762	5368	—	—
850	29 juillet	38 15	26 45 15	surf.	21.2	24.6	431	2903	530	2530	—	Açores
—	—	—	—	1531	5.8	24.8	368	2844	785	3518	—	—

Station	Date	Latitude N.	Longitude (Greenwich)	Profondeur m.	θ *in situ*	t pendant la mesure	S_4^t	S_4^0	S_4^θ	$n S_4^\theta$	Observateur	Observations
857	31 juillet 1897	38°45'	26° 35' 45" W.	surf.	21.0	25.0	1.02426	1.02910	1.02543	1.02543	Richard	Açores
—	—	—	—	1482	5.2	24.5	335	2799	749	3458	—	—
862	1er août	39 22	26 55 45	surf.	21.0	24.8	411	2887	520	2520	—	—
—	—	—	—	1940	3.9	24.8	356	2831	798	3728	—	—
865	2 août	38 52 50"	27 23 05	surf.	20.8	24.4	436	2843	571	2571	—	—
—	—	—	—	599	10.7	24.6	354	2843	721	3009	—	—
881	7 août	38 03 40	28 34 45	surf.	21.7	24.8	425	2901	515	2515	—	—
—	—	—	—	98	16.1	24.8	412	2887	647	2694	—	—
912	22 août	42 12	14 03 45	surf.	20.1	15.6	567	2795	460	2460	—	Dans l'W. de Vigo
—	—	—	—	5310	3.0	15.6	481	2706	680	5223	—	—
921	6 juillet 1898	58 16	5 48 15 E.	surf.	12.3	15.6	329	2542	394	2394	Buchanan	Côte de Norvége
—	—	—	—	343	6.6	15.8	604	2836	719	2883	—	—
936	18 juillet	Baie de l'Engabræ (Svartissen)		surf.	6.0	15.9	1.00211	1.00325	1.00323	1.00323	—	—
—	—	—	—	23	6.0	15.65	1.02259	1.02465	1.02420	1.02430	—	—
943	20 juillet	69 16	14 37 15 E.	surf.	»	16.25	583	2824	»	»	—	Côte de Norvége
—	—	—	—	588	5.1	16.45	583	2829	783	3075	—	—
944	—	69 18 15	14 29 15	surf.	12.2	16.2	551	2791	636	2636	—	—
—	—	—	—	1095	—0.8	16.45	571	2815	820	3344	—	—
950	21 juillet	69 18	14 27 15	surf.	12.4	16.45	545	2787	630	2630	—	—
—	—	—	—	1300	—1.0	15.7	590	2816	824	3445	—	—
—	—	—	—	1500	+7.7	15.65	597	2823	742	3460	—	—
—	—	—	—	1676	—1.0	15.9	579	2810	817	3621	—	—
951	22 juillet	69 17 30	14 24 15	surf.	12.5	16.0	580	2816	654	2654	—	—
—	—	—	—	1185	—0.8	15.65	617	2844	849	3417	—	—
953	23 juillet	»	»	surf.	11.1	17.35	433	2696	565	2565	—	Skiölhavn (Lofoten)
—	—	—	—	—	11.3	17.7	434	2706	570	2570	—	—
954	—	69 15 30	14 35 15	—	12.2	17.6	550	2824	668	2668	—	Côte de Norvége
—	—	—	—	1410	—0.8	17.7	548	2827	830	3506	—	—
955	—	—	14 29 45	1442	—0.9	17.8	549	2830	833	3523	—	—
957	—	69 16 30	14 26 15	1620	—0.95	18.6	524	2826	830	3606	—	—
958	28 juillet	»	»	surf.	10.0	12.65	626	2790	673	2673	—	Tromsö
959	29 juillet	72 37	20 00 15	—	9.2	12.65	644	2807	702	2702	—	Entre Tromsö et Beeren Eiland
—	—	—	—	300	4.9	13.0	655	2826	780	2924	—	—

Station	Date	Latitude N.	Longitude (Greenwich)	Profondeur m.	θ *in situ*	t pendant la mesure	S^{t}_{4}	S^{o}_{4}	S^{θ}_{4}	$n\,S^{\theta}_{4}$	Observateur	Observations
959	29 juillet 1898	72° 37′	20° 00′ 15″ E.	394	3.2	12.95	1.02658	1.02828	1.02803	1.02992	Buchanan	Entre Tromsö et Beeren Eiland
967	30 juillet			surf.	3.4	12.4	669	2828	800	2800	—	Beeren Eiland
—	—			—	3.2	11.7	618	2763	788	2788	—	—
969	31 juillet	76 30	25 27 15	—	3.3	11.7	564	2706	678	2678	—	S. de l'île Hope (Spitzberg)
975	2 août	76 45	23 20 15	—	4.0	11.7	625	2770	735	2735	—	S. de l'île Edge
—	—	—	—	186	2.0	11.5	671	2813	799	2888	—	—
978	—	76 49	22 54 15	180	2.0	11.3	675	2814	800	2886	—	—
—	—	—	—	surf.	4.2	9.4	434	2531	501	2501	—	Storfjord au large de la baie Whale
—	—	—	—	—	5.1	9.75	590	2697	655	2655	—	—
981	3 août	78 08 40″	19 25 15	—	2.6	10.5	462	2579	561	2561	—	Storfjord
—	—	—	—	94	— 1.4	14.85	460	2667	673	2718	—	—
982	—	—	—	23	0.3	10.3	549	2666	665	2675	—	—
—	—	—	—	50	— 0.2	10.05	622	2735	739	2762	—	—
—	—	—	—	71	— 1.2	10.5	632	2755	762	2796	—	—
—	—	—	—	surf.	5.3	10.8	538	2665	618	2618	—	—
—	—	—	—	—	5.3	10.2	555	2670	625	2625	—	—
983	—	78 09	19 25 15	—	3.1	10.5	516	2637	621	2621	—	—
—	—	—	—	—	5.3	10.2	537	2652	606	2606	—	—
»	6 août	»	»	—	4.4	9.85	587	2695	600	2600	—	Au large du cap South
988	7 août	76 56	11 20 15	—	7.0	10.7	689	2815	745	2745	—	W. du cap South
—	—	—	—	1335	— 1.2	10.75	684	2812	819	3418	—	—
990	—	—	—	surf.	7.9	10.65	687	2812	730	2730	—	SW. du détroit de Bell
—	—	—	—	—	4.4	10.2	549	2666	628	2628	—	—
»	8 août	»	»	—	7.2	9.9	241	2339	278	2278	—	Isfjord
»	—	»	»	—	6.9	10.05	269	2371	315	2315	—	Baie Advent
996	11 août	78 22	17 10 15	—	5.9	15.45	087	2283	242	2242	—	Baie Sassen
—	—	—	—	102	0.7	13.7	581	2770	762	2810	—	—
»	14 août	»	»	surf.	4.2	10.3	600	2722	683	2683	Bruce	Près de l'île Amsterdam (Spitzberg)
»	17 août	»	»	—	3.9	10.1	571	2685	655	2655	—	Hollandar Point (île Amsterdam)
»	—	»	»	—	3.3	10.45	577	2696	670	2670	—	Détroit de Smeerenberg (SE. du cap Hakluyt)
1008	—	80 27	13 25 15	—	— 0.5	9.9	472	2579	581	2581	—	N. du détroit de Smeerenberg
1009	—	—	—	138	4.3	10.25	699	2820	781	2847	—	—
—	—	—	—	275	2.4	10.2	702	2822	804	2936	—	—

Station	Date	Latitude N.	Longitude (Greenwich)	Profondeur m.	θ *in situ*	t pendant la mesure	S_4^t	S_4^o	S_4^θ	$n\,S_4^\theta$	Observateur	Observations
1010	18 août 1898	80° 01' 30"	10° 51' 15" E.	surf.	4.9	10.85	1.02638	1.02770	1.02725	1.02725	Bruce	N. du détroit de Smeerenberg
—	—	—	—	213	4.2	11.15	680	2815	777	2879	—	—
—	—	—	—	430	1.2	11.2	680	2817	809	3015	—	—
»	—	»	»	surf.	1.0	10.7	469	2591	584	2584	—	id. (2 milles au large de la glace)
1014	—	80 19	6 02 15	—	2.3	11.7	550	2691	675	2675	—	NW. du détroit de Smeerenberg
—	—	—	—	270	1.6	11.45	671	2812	801	2930	—	—
—	—	—	—	570	0.5	11.65	688	2835	832	3106	—	—
1015	19 août	79 28	5 40 15	surf.	2.3	15.15	449	2657	642	2642	—	W. de la baie de la Madeleine
—	—	—	—	865	1.9	17.45	544	2813	799	3213	—	—
—	—	—	—	1865	—1.2	15.0	600	2812	820	3713	—	—
—	—	—	—	surf.	4.4	15.6	506	2729	691	2691	—	—
1019	20 août	78 08 30	13 44 15	—	3.6	14.8	419	2618	595	2593	—	W. de l'île du Prince Charles
—	—	—	—	393	3.2	13.95	637	2827	800	2988	—	—
»	30 août	»	»	surf.	2.5	14.9	490	2695	678	2678	—	—
»	31 août	»	»	—	5.8	14.8	606	2813	758	2758	—	Entre le Spitzberg et l'Islande
1027	1er septembre	74 03	5 10 15	720	—0.8	14.6	598	2801	807	3151	—	—
—	—	—	—	1220	—0.8	12.85	636	2803	808	3392	—	—
—	—	—	—	1720	—1.2	13.1	633	2807	815	3639	—	—
—	—	—	—	2220	—1.2	14.9	590	2798	807	3870	—	—
—	—	—	—	3220	—1.0	13.5	606	2786	794	4336	—	—
1031	2 sept.	73 12	2 24 15	surf.	5.5	13.15	612	2784	734	2734	—	—
1032	—	—	—	500	—1.0	13.6	656	2839	846	3086	—	—
—	—	—	—	969	—0.7	13.45	651	2829	835	3300	—	—
1031	—	—	—	1969	—1.1	13.6	636	2820	827	3772	—	—
—	—	—	—	2469	—1.2	12.0	653	2806	813	3998	—	—
1035	4 sept.	69 02	5 08 45 W.	surf.	6.7	13.6	625	2808	741	2741	—	—
—	—	—	—	2810	—0.8	12.65	642	2806	811	4163	—	—
—	—	—	—	3310	—0.8	14.5	610	2811	816	4400	—	—
»	28 juillet 1899	»	»	surf.	7.0	10.25	530	2645	578	2578	—	Tromsö
»	—	»	»	—	10.6	11.1	502	2632	510	2510	—	Détroit de Kval (Extrémité extérieure)
1065	1er août	»	»	—	4.5	10.05	570	2682	645	2645	—	Baie Red, Spitzberg N.
1068	4 août	79 16	10 44 15	—	4.8	12.75	392	2543	510	2510	—	—
1068	—	79 16	10 44 15 E.	55	3.5	11.86	630	2778	749	2776	—	—

Station	Date	Latitude N.	Longitude (Greenwich)	Profondeur m.	θ *in situ*	t pendant la mesure	$S_{\frac{1}{4}}$	$S^{\circ}_{\frac{1}{4}}$	$S^{\theta}_{\frac{1}{4}}$	$n\,S^{\theta}_{\frac{1}{4}}$	Observateur	Observations
1069	4 août 1899	79° 18' 30"	10° 31' 15" E.	surf.	4.8	12.1	1.02620	1.02773	1.02730	1.02730	Bruce	Baie Red, Spitzberg N.
—	—	—	—	175	— 0.1	10.8	670	2800	801	2885	—	—
»	17 août	»	»	surf.	2.2	12.0	620	2770	753	2753	—	Entre les baies Red et Treurenberg
»	—	»	»	—	2.0	11.0	580	2719	695	2695	—	Baie Treurenberg
»	19 août	»	»	—	1.8	13.2	489	2659	647	2647	—	W. de la pointe S. du Prince Charles Foreland
»	20 août	»	»	—	3.9	13.95	499	2682	652	2652	—	—
»	25 août	»	»	—	2.9	15.05	460	2667	645	2645	—	Entrée du détroit de Bell
»	26 août	»	»	—	3.2	17.2	358	2608	585	2585	—	Baie Van Mijen
»	—	»	»	—	3.4	14.85	362	2557	533	2533	—	—
»	28 août	»	»	—	4.7	14.7	562	2766	725	2725	—	—
»	29 août	»	»	—	6.1	14.65	606	2810	750	2750	—	—
»	30 août	»	»	—	7.6	14.55	600	2801	722	2722	—	—
»	—	»	»	—	8.4	14.6	602	2806	713	2713	—	—
»	4 septembre	»	»	—	7.8	16.5	403	2640	563	2563	—	Milieu du canal de Tromsö (courant portant au N.)
»	—	»	»	—	7.6	22.7	225	2606	535	2535	—	Au dedans de Ry Strom
»	—	»	»	—	7.8	23.05	128	2524	450	2450	—	En dehors de Ry Strom
»	—	»	»	—	8.2	23.1	051	2441	365	2365	—	Côte de Norvége
»	—	»	»	—	9.4	18.2	430	2710	609	2609	—	—
»	5 sept.	»	»	—	9.7	18.2	477	2766	654	2654	—	—
»	—	»	»	—	9.0	16.65	515	2763	665	2665	—	—
»	6 sept.	»	»	—	10.6	23.05	371	2788	663	2663	—	—
»	—	»	»	—	11.1	22.5	397	2800	663	2663	—	—
»	7 sept.	»	»	—	11.4	22.85	364	2773	634	2634	—	—

V. — ANALYSES D'EAUX DE MER

RÉCOLTÉES A BORD DE LA *PRINCESSE-ALICE* EN 1902 ET 1903

ET

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

SUR LA CIRCULATION OCÉANIQUE

Station	Date	Latitude N.	Longitude (Greenwich)	Profondeur m.	θ *in situ*	t pendant l'expérience	S_4^t	S_4^0
1255	15 avril 1902	43°36′	7°38′45″ W.	surface	14.8	0	1.03031	1.03031
—	—	—	—	285	13.2	—	046	3046
—	—	—	—	485	13.1	—	085	3085
—	—	—	—	685	13.1	—	083	3083
—	—	—	—	885	12.8	—	087	3087
—	—	—	—	1085	13.0	—	086	3086
—	—	—	—	1285	13.0	—	089	3089
—	—	—	—	1485	12.9	—	080	3080
1268	24 juillet	36 06	7 55 45	1473	9.5	—	1.02870	1.02870
1309	31 juillet	37 31	24 54 15	2589	4.0	—	892	2892
1317	5 août	38 06	26 13 45	3018	4.9	—	821	2821
1324	7 août	38 39	25 04 45	surface	21.8	—	879	2879
—	—	—	—	200	13.3	—	875	2875
—	—	—	—	400	11.9	—	859	2859
—	—	—	—	600	10.7	—	846	2846
—	—	—	—	1000	9.0	—	852	2852
—	—	—	—	1500	5.2	—	820	2820
—	—	—	—	2000	3.8	—	815	2815
—	—	—	—	3000	3.5	—	806	2806
1326	7 août	38 39	25 05 45	surface	21.2	—	887	2887
—	—	—	—	25	20.5	—	891	2891
—	—	—	—	50	15.8	—	889	2889
—	—	—	—	75	14.9	—	889	2889
—	—	—	—	100	14.7	—	884	2884
—	—	—	—	150	13.9	—	875	2875
—	—	—	—	200	13.6	—	874	2874
1328	8 août	38 40	25 39 45	surface	20.3	—	879	2879
—	—	—	—	25	20.2	—	879	2879
—	—	—	—	50	17.5	—	881	2881
—	—	—	—	75	15.2	—	881	2881
—	—	—	—	100	14.2	—	881	2881
—	—	—	—	150	13.8	—	881	2881
—	—	—	—	200	13.0	—	871	2871
—	—	—	—	400	11.6	—	858	2858
—	—	—	—	600	10.2	—	845	2845
—	—	—	—	1000	7.2	—	843	2843
—	—	—	—	1500	5.4	—	827	2827
—	—	—	—	2000	3.7	—	815	2815
1332	13 août	39 30	29 02 45	1900	4.1	—	825	2825
1372	25 août	37 31 30″	29 03 45	surface	22.7	—	903	2903
—	—	—	—	1701	»	—	823	2823
1373	25 août	37 34 30	29 07 45	surface	21.8	—	884	2884
—	—	—	—	1685	4.8	—	827	2827
1376	26 août	37 44	29 13 45	surface	21.3	—	887	2887
—	—	—	—	980	7.2	—	845	2845
1385	27 août	37 37	27 16 45	surface	21.7	—	916	2916

S^{θ}_{4}	$n\ S^{\theta}_{4}$	Halog. dans 1000 g.	SO^{3} dans 1000 g.	Az H^{3} libre mmg. par litre	Az H^{3} album. mmg. par litre	OBSERVATIONS
1.02814	1.02814	20.98	»	0.11	0.08	12 milles SE. de Monaco
863	2999	21.09	»	0.08	0.06	—
903	3136	21.31	»	0.04	0.06	—
902	3231	21.30	»	0.02	0.06	—
912	3337	21.34	»	0.02	0.06	—
907	3428	21.34	»	0.01	0.05	—
909	3525	21.38	»	0.01	0.05	—
903	3615	21.31	»	traces	0.05	— (Au fond)
760	3465	19.90	2.327	0.11	0.19	60 milles SSE. cap St-Vincent. (Au fond)
855	4094	20.02	2.354	0.02	0.15	18 milles SSE. São Miguel. (Au fond)
777	4222	19.56	2.284	0.06	0.16	Fosse de l'Hirondelle. (Au fond)
490	2490	20.03	2.318	0.11	0.17	Au N. de São Miguel
693	2789	19.92	2.322	0.06	0.11	
707	2898	19.82	2.315	0.04	0.08	
717	3005	19.78	2.323	0.04	0.08	
750	3229	19.80	2.311	0.02	0.07	
771	3489	19.58	2.286	0.02	0.07	
782	3740	19.50	2.288	0.04	0.13	
777	4214	19.45	2.282	0.02	0.11	(Au fond)
513	2513	20.02	2.327	0.12	0.12	
537	2549	20.03	2.335	0.04	0.12	
654	2678	20.04	2.359	0.13	0.15	
675	2711	20.02	»	0.08	0.12	
674	2722	20.00	2.353	0.13	0.13	
684	2756	19.98	2.320	0.17	0.15	
688	2784	19.97	2.326	0.13	0.14	
532	2532	19.98	»	0.19	0.19	A l'E. de Terceira
535	2547	19.98	2.305	0.08	0.13	
610	2634	19.97	2.318	0.08	0.13	
661	2697	19.96	2.313	0.11	0.15	
682	2730	19.98	2.331	0.07	0.13	
691	2763	19.96	2.319	0.08	0.12	
698	2794	19.93	2.312	0.08	0.13	
712	2903	19.83	2.291	0.06	0.12	
724	3012	19.72	2.285	0.06	0.12	
770	3249	19.69	2.285	0.11	0.12	
774	3492	19.55	2.268	0.06	0.11	
784	3742	19.50	2.267	0.08	0.12	(Au fond)
788	3699	19.57	2.269	0.06	0.09	55 milles NNW. de Fayal. (Au fond)
437	2437	20.06	2.328	0.19	0.15	Banc Princesse-Alice
»	»	19.60	2.288	0.13	0.09	
494	2494	19.98	2.328	0.17	0.14	— (Au fond)
785	3593	19.60	2.263	0.12	0.11	
502	2502	20.01	2.333	0.08	0.11	— (Au fond)
770	3239	19.68	2.288	0.06	0.13	(Au fond)
530	2530	20.21	2.342	0.17	0.15	Fosse de l'Hirondelle

Station	Date	Latitude N.	Longitude (Greenwich)	Profondeur m.	θ *in situ*	t pendant l'expérience	$S\frac{1}{4}$	$S\frac{0}{4}$
1385	27 août 1902	37°37'	27°16' 45" W.	2350	3.5	0	1.02814	1.02814
1387	27 août	38 02	26 31 45	surface	21.6	—	885	2885
—	—	—	—	2224	4.9	—	821	2821
1388	27 août	38 05 30"	26 25 45	surface	21.2	—	877	2877
—	—	—	—	1964	5.0	—	819	2819
1389	27 août	38 07 30	26 22 45	surface	21.2	—	881	2881
—	—	—	—	2900	4.9	—	821	2821
1404	1er septembre	37 58	26 05 45	surface	21.6	—	894	2894
—	—	—	—	3215	4.8	—	818	2818
1410	5 sept.	42 24	28 14 45	surface	20.5	—	873	2873
—	—	—	—	2750	3.4	—	809	2809
1419	6 sept.	42 53	28 30 45	surface	20.2	—	885	2885
—	—	—	—	2460	3.5	—	810	2810
1424	6 sept.	42 57	28 21 45	surface	20.3	—	872	2872
—	—	—	—	2180	3.7	—	808	2808
1425	8 sept.	42 50	19 36 45	surface	18.9	—	886	2886
—	—	—	—	3230	3.0	—	858	2858
1427	9 sept.	43 07	19 43 15	surface	18.8	—	876	2876
—	—	—	—	5943	2.7	—	805	2805
1430	9 sept.	43 07	19 42 45	surface	18.8	—	880	2880
—	—	—	—	400	11.2	—	853	2853
—	—	—	—	600	10.5	—	849	2849
—	—	—	—	1000	8.3	—	865	2865
—	—	—	—	1500	4.4	—	840	2840
—	—	—	—	2000	3.8	—	819	2819
—	—	—	—	2500	3.2	—	819	2819
—	—	—	—	3000	2.9	—	803	2803
1432	10 sept.	43 08 30	19 51 45	4000	2.5	—	802	2802
—	—	—	—	5830	3.0	—	800	2800
1435	11 sept.	43 06	19 51 45	25	18.8	—	864	2864
—	—	—	—	50	14.8	—	866	2866
—	—	—	—	75	13.8	—	870	2870
—	—	—	—	100	13.0	—	867	2867
—	—	—	—	150	12.8	—	867	2867
—	—	—	—	200	12.3	—	860	2860
1449	24 juillet 1903	45 09	3 18	surface	19.0	—		2868
—	—	—	—	1804	5.5	—		2843
1452	—	45 02	3 16	surface	19.7	—		2870
—	—	—	—	1455	7.8	—		2860
1459	26 juillet	45 05	4 12	surface	19.7	—		2880
—	—	—	—	4358	2.7	—		2861
1474	3 août	44 35 05	1 57 30	surface	19.9	—		2880
—	—	—	—	50	15.7	—		2877
—	—	—	—	100	12.8	—		2877
1477	—	44 39	2 11	surface	20.2	—		2876
—	—	—	—	1414	6.6	—		2870

S^{0}_{4}	$n\,S^{0}_{4}$	Halog. dans 1000 g.	SO^{3} dans 1000 g.	Az H^{3} libre mmg. par litre	Az H^{3} album. mmg. par litre	OBSERVATIONS
1.02784	1.03909	19.52	2.266	0.05	0.14	Fosse de l'Hirondelle. (Au fond)
500	2500	19.96	2.311	0.17	0.13	
775	3840	19.56	2.279	0.06	0.15	(Au fond)
503	2503	19.96	2.322	0.17	0.14	Fosse de l'Hirondelle
773	3714	19.57	2.287	0.06	0.11	(Au fond)
507	2507	19.95	2.330	0.15	0.12	
774	4163	19.53	2.272	0.08	0.13	Fosse de l'Hirondelle. (Au fond)
503	2503	20.04	2.327	0.08	0.14	
775	4315	19.59	2.287	0.06	0.11	(Au fond)
516	2516	19.91	2.329	0.14	0.12	N. des Açores
780	4098	19.50	2.280	0 06	0.11	(Au fond)
538	2538	19.98	2.339	0.19	0.15	N. des Açores
780	4266	19.51	2.275	0.02	0.09	(Au fond)
520	2520	19.96	2.328	0.14	0.13	N. des Açores
776	3820	19.48	2.281	0.06	0.11	(Au fond)
573	2573	19.95	2.339	0.29	0.13	NE. des Açores
833	4381	19.78	2.292	0.11	0.11	(Au fond)
558	2558	19.98	2.309	0.19	0.11	NE. des Açores
782	5629	19.47	2.274	0.15	0.14	
569	2569	19.96	2.327	0.17	0.11	
715	2906	19.76	2.311	0.08	0.05	
723	3011	19.74	2.308	0.09	0.11	
773	3252	19.87	2.317	0.07	0.08	
800	3518	19.72	2.305	0.13	0.13	
786	3744	19.53	2.275	0.15	0.11	
792	3990	19.54	2.276	0.14	0.08	
780	4217	19.47	2.265	0.15	0.19	
783	4699	19.45	2.271	0.05	0.09	
775	5568	19.46	2.266	0.04	0.13	
554	2566	19.93	2.334	0.03	0.13	
653	2677	19.91	2.331	0.04	0.12	
676	2712	19.93	2.316	0.04	0.13	
694	2742	19.91	2.330	0.03	0.13	
698	2770	19.92	2.314	0.15	0.14	
700	2796	19.87	2.311	0.11	0.11	
550	2550	19.79	2.314			
787	3673	19.65	2.305			(Au fond)
532	2532	19.80	2.315			
772	3466	19.78	2.307			(Au fond)
545	2545	19.93	2.319			
832	4778	19.76	2.300			A l'W. d'Arcachon. (Au fond)
538	2538	19.95	2.321			
642	2664	19.91	2.319			
720	2770	19.89	2.318			
527	2527	19.90	2.316			
800	3470	19.87	2.309			(Au fond)

Station	Date	Latitude N.	Longitude (Greenwich)	Profondeur m.	θ in situ	t pendant l'expérience	$S_{\frac{1}{4}}$	S_4^0
1485	4 août 1903	44° 39' 30"	2° 11' 15" W.	surface	20.8	0		1.02885
—	—	—	—	50	13.3	—		2880
—	—	—	—	100	14.3	—		2880
—	—	—	—	150	11.8	—		2878
1487	5 août	43 40	2 02	surface	20.8	—		2875
—	—	—	—	440	11.3	—		2871
1488	—	43 37	2 07 05	surface	20.8	—		2882
—	—	—	—	1390	7.8	—		2900
1493	10 août	43 36 30	2 06	surface	21.4	—		2877
—	—	—	—	1168	9.0	—		2875
1495	11 août	43 31	2 05 05	surface	22.6	—		2878
—	—	—	—	208	11.3	—		2876
1496	—	—	—	surface	21.8	—		2879
—	—	—	—	50	12.8	—		2877
—	—	—	—	100	12.0	—		2875
—	—	—	—	150	11.8	—		2875
1499	12 août	—	—	surface	19.9	—		2876
—	—	—	—	4330	2.3	—		2868
1501	—	44 34	4 38 30	surface	20.0	—		2870
—	—	—	—	50	14.0	—		2873
—	—	—	—	100	14.2	—		2870
—	—	—	—	150	11.4	—		2870
—	—	—	—	200	11.7	—		2867
1504	13 août	—	—	500	10.7	—		2865
—	—	—	—	1000	9.8	—		2860
—	—	—	—	1500	6.3	—		2857
—	—	—	—	2500	3.2	—		2855
—	—	—	—	3000	2.8	—		2847
—	—	—	—	3500	2.7	—		2859
1509	19 août	47 23 20	2 47 40	surface	17.1	—		2887
—	—	—	—	21	16.7	—		2885
1513	—	47 28	2 57 35	surface	17.3	—	—	2879
—	—	—	—	18	16.9	—		2878
1517	26 août	47 40 50	3 28 40	surface	16.8	—		2881
—	—	—	—	36	15.8	—		2878
1522	27 août	47 48 05	3 57 40	surface	17.3	—		2871
—	—	—	—	22	16.0	—		2865
1533	1er septembre	47 46	5 40	surface	16.8	—		2868
—	—	—	—	132	11.3	—		2862
1534	—	—	—	50	14.8	—		2865
—	—	—	—	100	11.3	—		2860
1538	4 sept.	47 16	5 16	surface	16.9	—		2873
—	—	—	—	140	11.4	—		2870
1539	—	—	—	50	12.0	—		2870
—	—	—	—	100	11.3	—		2867
1545	5 sept.	46 47	5 18	surface	16.9	—		2877

S^0_4	$n\ S^0_4$	Halog. dans 1000 g.	SO^3 dans 1000 g.	Az H^3 libre mmg. par litre	Az H^3 album. mmg. par litre	OBSERVATIONS
1.02532	1.02532	20.01	2.322			
698	2720	19.97	2.322			
676	2720	19.97	2.320			
725	2797	19.90	2.320			
510	2510	19.87	2.315			
720	2930	19.85	2.310			Au N. de Saint-Sébastien
516	2516	20.00	2.318			(Au fond)
813	3479	19.98	2.320			Fosse du Cap-Breton
495	2495	19.86	2.317			(Au fond)
771	3330	19.84	2.315			Fosse du Cap-Breton
464	2464	19.93	2.320			(Au fond)
730	2826	19.88	2.312			Devant Saint-Sébastien
487	2487	19.85	2.320			(Au fond)
704	2763	19.94	2.318			
718	2766	19.90	2.318			
723	2795	19.90	2.317			
507	2507	19.87	2.316			
849	4927	19.75	2.297			(Au fond)
525	2525	19.80	2.312			Au N. de Santander
671	2694	19.79	2.312			
667	2715	19.77	2.312			
722	2793	19.75	2.309			
720	2815	19.75	2.307			
730	2969	19.75	2.309			
741	3219	19.72	2.307			
759	3477	19.70	2.307			
824	4022	19.69	2.306			
823	4260	19.65	2.300			
834	4511	19.71	2.302			
619	2619	20.02	2.319			Baie de Quiberon
655	2664	20.00	2.319			(Au fond)
607	2607	19.95	2.318			Près de Belle-Ile
617	2626	19.93	2.317			(Au fond)
622	2622	19.98	2.317			Près de Groix
641	2657	19.91	2.317			(Au fond)
598	2598	19.88	2.311			
621	2630	19.73	2.309			(Au fond)
607	2607	19.75	2.312			A l'W. de Penmarch
717	2778	19.71	2.308			(Au fond)
648	2671	19.77	2.310			
714	2762	19.71	2.308			
610	2610	19.87	2.313			
720	2786	19.85	2.310			(Au fond)
710	2733	19.86	2.311			
720	2768	19.75	2.311			
613	2613	19.90	2.316			

Station	Date	Latitude N.	Longitude (Greenwich)	Profondeur m.	θ *in situ*	t pendant l'expérience	$S\frac{t}{4}$	$S\frac{0}{4}$
1545	5 septembre 1903	46°47'	5°18' W.	800	9.8	0		1.02859
1556	7 sept.	45 27	6 05	surface	18.8	—		2885
—	—	—	—	50	17.2	—		2882
—	—	—	—	100	12.5	—		2882
—	—	—	—	150	12.0	—		2877
—	—	—	—	200	11.5	—		2875
—	—	—	—	500	11.4	—		2865
—	—	—	—	1000	9.9	—		2857
—	—	—	—	1500	6.6	—		2860
—	—	—	—	2000	4.3	—		2857
—	—	—	—	2500	3.0	—		2854
—	—	—	—	3000	3.2	—		2849
—	—	—	—	3509	1.8	—		2840
—	—	—	—	4009	2.5?	—		2840
—	—	—	—	4730	8.4?	—		2855
1562	10 sept.	44 43	6 24	surface	19.0	—		2883
—	—	—	—	4805	3.1	—		2870
1563	—	—	—	50	17.8	—		2878
—	—	—	—	100	12.5	—		2875
—	—	—	—	150	12.1	—		2873
—	—	—	—	200	8.9	—		2870
—	—	—	—	500	11.2	—		2858
—	—	—	—	1000	10.0	—		2850
—	—	—	—	1500	6.6	—		2844
—	—	—	—	2000	4.2	—		2837
—	—	—	—	2500	3.9	—		2830
—	—	—	—	4500	3.9	—		2822
1576	14 sept.	47 29	4 50	surface	15.9	—		2868
—	—	—	—	120	11.4	—		2863
1579	15 sept.	47 39	7 32	surface	15.5	—		2865
—	—	—	—	540	10.6	—		2856
1580	—	47 37	7 36	surface	15.7	—	—	2870
—	—	—	—	794	9.9	—		2860
1591	16 sept.	47 45 5	7 45	surface	15.6	—		2875
—	—	—	—	50	15.0	—		2873
—	—	—	—	100	12.0	—		2870
—	—	—	—	150	11.9	—		2870

S^{0}_{4}	$n\,S^{0}_{4}$	Halog. dans 1000 g.	SO^{3} dans 1000 g.	Az H^{3} libre mmg. par litre	Az H^{3} album. mmg. par litre	OBSERVATIONS
1.02737	1.03120	19.71	2.305			Vers le centre du Golfe de Gascogne. (Au fond)
572	2572	20.03	2.324			
610	2633	20.00	2.322			
714	2762	20.01	2.320			
721	2792	19.92	2.320			
728	2823	19.90	2.317			
717	2956	19.75	2.315			
737	3215	19.69	2.314			
790	3508	19.71	2.311			Opaline
815	3773	19.70	2.311			Opaline
826	4023	19.65	2.308			Opaline
820	4257	19.64	2.306			Opaline
824	4501	19.55	2.300			Opaline
818	4734	19.55	2.297			Opaline
757	5027	19.62	2.299			Opaline
565	2565	20.01	2.319			A N. de Gijon
831	5135	19.80	2.299			
591	2614	19.89	2.318			
707	2755	19.88	2.318			
711	2782	19.79	2.315			
766	2861	19.78	2.311			
715	2954	19.70	2.307			
727	3205	19.65	2.305			Opaline
773	3491	19.60	2.303			Opaline
790	3755	19.54	2.301			Opaline
794	3991	19.50	2.300			Opaline
785	4941	19.45	2.300			Opaline
627	2627	19.73	2.313			Près du banc de La Chapelle
715	2772	19.72	2.308			(Au fond)
635	2635	19.74	2.310			
725	2984	19.70	2.305			(Au fond)
634	2634	19.95	2.309			
736	3141	19.72	2.307			(Au fond)
644	2644	19.92	2.315			
653	2676	19.88	2.315			
710	2758	19.87	2.310			
712	2783	19.86	2.310			

Les tableaux qui précèdent donnent les résultats des analyses des eaux récoltées pendant la campagne de la *PRINCESSE-ALICE* dans les parages des Açores en 1902. Ces eaux ont été recueillies et conservées d'après les procédés décrits antérieurement[1]. La densité S°_{4} de chaque échantillon a été obtenue par la méthode du flacon[2] et ramenée ensuite au moyen du graphique[3] d'abord à S^{0}_{4} puis, grâce à la table de correction de la compressibilité[4] à $n\,S^{0}_{4}$. Il m'a semblé inutile de doser, comme je l'avais fait auparavant, les matières organiques par le permanganate de potasse. La teneur de 0,0292 g d'oxygène par litre n'est pas sans m'inspirer quelques doutes; peut-être se fait-il des changements dans le liquide postérieurement à la récolte. Je me bornerai donc à répéter ici ce que j'écrivais dans mon mémoire[5]. Le permanganate est un sel capricieux auquel on ne saurait avoir une confiance illimitée, mais l'analyse des échantillons ayant été faite dans des conditions identiques, les résultats obtenus sont, à tout le moins, comparables entre eux de sorte que, même inexacts, ils auront au moins l'avantage de servir à établir par leur inexactitude, l'inutilité de les doser. M. Lenormand, de Rennes[6], a préconisé pour l'analyse des eaux de mer l'emploi d'un procédé différent de celui que j'ai employé. Je laisse aux chimistes plus compétents que moi, le soin de décider de la question.

Les halogènes ont été dosés à la façon ordinaire[7] ainsi que l'ammoniaque libre et l'ammoniaque albuminoïde[8]. En revanche, pour des raisons qui seront énoncées dans la suite, il m'a paru nécessaire d'évaluer le poids d'acide sulfurique SO^3 contenu dans 1000 g de l'eau de mer considérée. Cette analyse a été effectuée de la manière suivante.

On pèse dans un ballon léger à fond plat bouché à l'émeri, environ 100 cmcb d'eau de mer. On transvase dans un autre ballon à fond plat, plus grand, et on rince. On ajoute 8 à 10 gouttes d'acide chlorhydrique, on fait bouillir pendant 2 minutes. On verse le liquide bouillant dans un vase à précipité où l'on a versé au préalable 4 cmcb d'une solution saturée de chlorure de baryum. On agite et on laisse se déposer pendant une nuit. On décante sur le filtre la partie limpide puis on y jette d'un seul coup le précipité; on lave à l'eau bouillante jusqu'à ce qu'une goutte de solution d'azotate d'argent, acidifiée d'acide azotique, ne produise plus aucun louche. On sèche à l'étuve. On incinère, dans un creuset de platine ouvert, d'abord la moitié du filtre ne contenant pas de précipité, puis le précipité et l'autre moitié du filtre en

[1] J. Thoulet. *Etude des échantillons d'eaux et de fonds récoltés pendant la campagne du yacht PRINCESSE-ALICE dans l'Atlantique Nord en 1901*. Résultats des campagnes..., etc. Fasc. XXII, p. 4 et 5.

[2] J. Thoulet. *Ibid.* p. 11.

[3] J. Thoulet. *Détermination de la densité de l'eau de mer*. Rapports scientifiques publiés sous la direction de la Commission de la *BELGICA*.

[4] J. Thoulet. *Océanographie* (statique) p. 361.

[5] J. Thoulet. *Loc. cit.* p. 16.

[6] Lenormand. *Nouvelle méthode pour doser les matières organiques dans les eaux et plus particulièrement dans celles qui contiennent des chlorures et des bromures*. Bull. Soc. scient. et méd. de l'Ouest, t. XII, n° 2, 1903.

[7] J. Thoulet. *Loc. cit.* p. 13.

[8] J. Thoulet. *Loc. cit.* p. 17-18.

chauffant modérément et en remuant avec un fil de platine jusqu'à ce que tout le papier soit brûlé. On chauffe ensuite plus fortement. En incinérant en une seule fois le filtre et le précipité dans le creuset fermé et sans remuer avec le fil de platine, on risquerait d'obtenir un poids de sulfate de baryte trop faible, parce que, à l'abri de l'air et au contact de charbon laissé par le papier, le sulfate de baryte se réduirait partiellement en sulfure de baryum. On laisse refroidir au sec et on pèse. Le poids de sulfate de baryte multiplié par 0,3432 donne la teneur en SO^3. On ramène par le calcul à 1000 g d'eau de mer.

Les analyses de 1902 ont été faites avec autant de soin que d'habileté par M. Chevallier, préparateur à la Faculté des Sciences de l'Université de Nancy. Celles de 1903 ont été exécutées par M. L. G. Sabrou au laboratoire du Musée Océanographique de Monaco et publiées dans le n° 18 du Bulletin de cet établissement. Dans ces dernières, ainsi que le fait remarquer M. Sabrou, l'ammoniaque libre, pas plus que l'ammoniaque albuminoïde n'ont été dosées. En effet la quantité de ces deux substances trouvée au laboratoire n'a aucun rapport direct avec la quantité qui se trouvait dans l'eau de mer. Il peut parfaitement se produire des processus microbiens qui augmentent la quantité d'ammoniaque libre en diminuant d'autant la quantité d'ammoniaque albuminoïde. D'autre part, les méthodes employées jusqu'ici pour la détermination des matières organiques de l'eau de mer ont été l'objet de trop de controverses pour qu'on puisse leur accorder une confiance absolue. Ce sont ces deux raisons, variation de l'ammoniaque après le puisage et incertitude du dosage des matières organiques qui ont fait rejeter ces deux déterminations.

Les deux séries verticales Stn. 1556 et 1563, ainsi que l'observe M. Sabrou, présentaient à partir d'une certaine profondeur une singularité remarquable. L'eau puisée était opaline et d'une couleur franchement bleutée. C'est ce qu'on a noté sur les tableaux par le mot « opaline » dans la colonne observations.

Une analyse attentive de ces eaux a montré que ce louche provenait d'une petite quantité d'argile en suspension. On a pu qualitativement, mais d'une façon très nette, y déceler l'alumine et la silice. Malheureusement les quantités d'eau dont on pouvait disposer pour l'analyse étaient trop faibles pour qu'on puisse exécuter une détermination quantitative avec quelque chance de précision. Mais la seule présence de cette argile à des profondeurs aussi considérables et d'autre part à une distance aussi grande du fond est déjà un phénomène des plus intéressants.

M. J. Y. Buchanan a publié le tableau des densités d'eaux de surface et de profondeur mesurées par lui au moyen de l'aréomètre pendant la durée entière de la campagne du *Challenger*[1]. Ces tableaux donnent en outre de la position des stations, pour chaque mesure, la profondeur, la température *in situ* θ, celle pendant la mesure t, la densité $S\frac{t}{4}$ et enfin la densité $S\frac{\theta}{4}$. J'ai espéré qu'en me servant de cette

[1] J. Y. Buchanan. *Report on the specific gravity of samples of ocean water observed on board H. M. S. Challenger during the years 1873-1876.* Reports of the voyage... Physics and Chemistry, vol. I.

masse si considérable de documents se rapportant aux divers océans, auxquels viendraient se joindre les densités recueillies dans l'Atlantique nord par la *PRINCESSE-ALICE*, on parviendrait peut-être par un groupement judicieux et une comparaison attentive, à déduire quelques notions relatives à la circulation générale océanique.

Parmi les densités du *CHALLENGER*, j'ai supprimé celles des eaux de surface. J'avoue ne pas attribuer beaucoup d'importance à ces données qui appartiennent en même temps à l'océanographie et à la météorologie sans qu'il soit possible d'apprécier quelle part revient dans le phénomène total à l'une et à l'autre de ces deux sciences. Un autre désavantage des densités superficielles est que, prises à bord d'un navire à vapeur et d'assez fort tonnage, elles se rapportent à des couches mélangées depuis la vraie surface, jusqu'à une profondeur de 5 ou 6 mètres au moins, troublée par la présence même du navire. Il m'est trop souvent arrivé, sur la *PRINCESSE-ALICE* immobilisée en pleine mer, de recueillir dans un seau, à quelques instants à peine d'intervalle, des échantillons d'eaux dont la température variait quelquefois de plus de 2 degrés, pour que j'aie grande confiance dans l'homogénéité des échantillons soi-disant de surface. Ce n'est pas que je doute de l'intérêt d'une étude de ces eaux et que leur analyse physique et chimique ne soit appelée à résoudre d'importants problèmes, mais j'estime que ces recherches ne mériteront d'être entreprises que lorsque les échantillons auront été récoltés d'une embarcation immobile mouillée par petite profondeur ou, au large, amarrée à la bouée de nasse.

Les densités de surface étant supprimées, il en restait 1002 qui ont été rangées par ordre de profondeur décroissante. Pour chacune d'elles, on a alors transformé les brasses en mètres, indiqué l'océan auquel elles se rapportaient et noté si l'échantillon avait été pris au contact du fond ou dans des eaux intermédiaires. La valeur anglaise $S_{\frac{1}{4}}$ a été transformée en $S^{\frac{1}{4}}$, puis en $S_{\frac{1}{4}}$ à l'aide du graphique de transformation des densités; enfin on a calculé le $n S^{\frac{1}{4}}$, c'est-à-dire la densité à la température *in situ* et corrigée de la pression à n mètres de profondeur. Ces calculs ont été excessivement longs et laborieux; je les tiens, en manuscrit, à la disposition des océanographes qui auraient intérêt à les utiliser. Ils étaient indispensables pour comparer les données anglaises à celles de la *PRINCESSE-ALICE* parce que seuls, ils permettaient d'appliquer le calcul des moyennes.

J'ai procédé d'une manière uniforme. Me posant à l'avance une question quelconque, j'ai groupé les chiffres de mesure, exprimant des faits réels, de façon à ce qu'ils m'apportent une réponse affirmative ou négative. Convaincu que les réponses que j'attendais seraient d'autant plus nettes qu'elles parleraient aux yeux, j'ai toujours mis l'ensemble des faits sous forme de graphiques.

Tout d'abord il s'agissait de savoir si, dans les divers océans, il existait des relations entre la température, la densité normale et *in situ* et la profondeur, soit au contact même du fond, soit dans des eaux intermédiaires entre la surface et le fond. Dans ce but j'ai dressé les tableaux suivants. Dans le premier, j'ai marqué les tempé-

ratures pour chaque profondeur, de 1000 en 1000 mètres avec intervalles moindres en me rapprochant de la surface. Le second tableau se rapporte aux densités normales S_t^0 et le troisième aux densités *in situ* S_t sans la correction de compressibilité qui serait difficile à appliquer à des données expérimentales éparses sur une hauteur de 1000 mètres et dont il faudrait ensuite prendre la moyenne ce qui n'aurait aucun sens. Chaque chiffre inscrit est une moyenne. En regard de chacun d'eux se trouve le nombre N des observations qui ont servi à l'établir et qui, par conséquent, en fournit le poids.

Les tableaux mis sous forme de graphiques (Pl. III) montrent mieux les relations des diverses variables entre elles et avec la profondeur. Cependant, pas plus les graphiques que les tableaux, ne méritent dans les conditions actuelles, une confiance absolue. Les mesures directes ayant servi à les établir sont beaucoup trop peu nombreuses pour la vaste étendue des mers. Comme l'océan couvre les trois quarts de la surface du globe, les 1002 mesures de températures et de densités océaniques que nous possédons équivalent à environ 350 cotes d'altitude continentales distribuées suivant quelques lignes irrégulières qui, si l'on en n'avait pas davantage, donneraient une idée bien vague du relief et du modelé des continents. Les données du *CHALLENGER* sont surtout très inégalement réparties au point de vue bathymétrique, car tandis que pour certaines profondeurs le chiffre obtenu est la moyenne de 72 observations et, par conséquent, est digne d'une réelle confiance, il ne résulte pour d'autres que d'une seule observation et l'on a été obligé d'attribuer la même importance à des données de poids absolument différent.

Tableaux et graphiques sont pourtant utiles. S'ils ne sont pas l'expression complète de la vérité, ils indiquent la façon certaine de s'en rapprocher de plus en plus et par conséquent de finir par l'atteindre dès que les observations directes se seront suffisamment multipliées. Si on désire alors modifier une donnée quelconque d'un tableau, on se bornera à prendre la moyenne déjà notée, à la multiplier par le nombre des observations ayant servi à l'établir et à ajouter au résultat les nouvelles données expérimentales. On additionne le tout, on divise par le nombre total des observations anciennes et nouvelles et on arrive ainsi à une nouvelle moyenne forcément plus exacte que l'ancienne puisqu'elle est la condensation d'un nombre plus grand d'observations.

Au sein de tous les océans (Pl. III), d'une façon générale, la température au fond aussi bien que dans les eaux intermédiaires, diminue lorsque la profondeur augmente. Il en est de même pour la densité absolue S_t^0 tandis qu'au contraire, la densité *in situ* S_t augmente au moins jusqu'à une certaine profondeur.

L'océan Atlantique nord est le plus chaud de tous les océans à égalité de profondeur. Viennent ensuite par ordre décroissant, le Pacifique nord, le Pacifique sud, l'Atlantique sud et l'Océan Indien. C'est aussi, à profondeur égale, l'Atlantique nord qui possède le plus fort S_t^0 et l'Océan Indien le plus faible.

TEMPÉRATURES

Profondeur m.	ATLANTIQUE N.				ATLANTIQUE S.				PACIFIQUE N.				PACIFIQUE S.				OCÉAN INDIEN			
	FOND		INTERM.		FOND		INTERM.		FOND		INTERM.		FOND		INTERM.		FOND		INTERM.	
	θ	N	θ	N	θ	N	θ	N	θ	N	θ	N	θ	N	θ	N	θ	N	θ	N
0-50	»	»	20.29	9	»	»	19.93	21	»	»	22.67	31	»	»	19.00	29	»	»	»	»
50-100	»	»	17.31	14	»	»	16.73	22	»	»	19.84	35	»	»	17.31	30	»	»	6.84	5
100-500	1.70	1	14.03	43	7.33	3	11.36	47	»	»	13.14	72	»	»	12.94	70	8.30	1	4.52	14
500-1000	»	»	8.46	38	4.60	1	5.56	45	6.05	2	6.22	63	10.40	1	6.02	60	»	»	4.01	11
1000-2000	4.25	2	5.60	5	2.45	2	3.07	14	3.25	2	2.78	14	3.40	2	3.00	19	»	»	»	»
2000-3000	3.30	1	3.30	2	3.01	6	3.10	3	»	»	»	»	2.21	12	2.12	6	1.77	3	»	»
3000-4000	2.59	10	2.50	1	1.82	10	2.10	2	1.83	6	1.73	3	1.77	10	1.76	14	0.95	4	»	»
4000-5000	2.42	26	3.10	1	1.14	12	»	»	1.76	11	1.79	9	1.70	20	1.77	3	1.10	1	»	»
5000-6000	2.46	13	»	»	0.40	1	»	»	1.70	18	1.76	5	1.30	1	»	»	»	»	»	»
6000-7000	»	»	»	»	»	»	»	»	1.70	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
7000-8000	»	»	»	»	»	»	»	»	1.70	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
8000-9000	»	»	»	»	»	»	»	»	1.80	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»

S^{o}_{4}

Profondeurs m.	ATLANTIQUE N.				ATLANTIQUE S.				PACIFIQUE N.				PACIFIQUE S.				OCÉAN INDIEN			
	FOND		INTERM.		FOND		INTERM.		FOND		INTERM.		FOND		INTERM.		FOND		INTERM.	
	S^{o}_{4}	N	S^{o}_{4}	N	S^{o}_{4}	N	S^{o}_{4}	N	S^{o}_{4}	N	S^{o}_{4}	N	S^{o}_{4}	N	S^{o}_{4}	N	S^{o}_{4}	N	S^{o}_{4}	N
0-50	»	»	1.02879	9	»	»	1.02876	21	»	»	1.02799	31	»	»	1.02804	29	»	»	»	»
50-100	»	»	1.02892	14	»	»	1.02825	22	»	»	1.02791	35	»	»	1.02812	30	»	»	1.02777	5
100-500	1.02620	1	1.02892	43	1.02694	3	1.02839	47	»	»	1.02788	72	»	»	1.02817	70	1.02888	1	1.02778	14
500-1000	»	»	1.02856	38	1.02845	1	1.02800	45	1.02781	2	1.02770	63	1.02899	1	1.02780	60	»	»	1.02776	11
1000-2000	1.02925	2	1.02848	5	1.02760	2	1.02805	14	1.02780	2	1.02774	14	1.02812	2	1.02780	19	»	»	»	»
2000-3000	1.02771	1	1.02895	2	1.02829	6	1.02818	3	»	»	»	»	1.02806	12	1.02786	6	1.02767	3	»	»
3000-4000	1.02867	10	1.02828	1	1.02820	10	1.02818	2	1.02795	6	1.02773	3	1.02814	10	1.02794	14	1.02797	4	»	»
4000-5000	1.02873	26	1.02910	1	1.02829	12	■	»	1.02792	11	1.02775	9	1.02810	20	1.07794	3	1.02794	1	»	»
5000-6000	1.02903	13	»	»	1.02850	1	»	»	1.02791	18	1.02774	5	1.02853	1	»	»	»	»	»	»
6000-7000	»	»	»	»	»	»	»	»	1.02798	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
7000-8000	»	»	»	»	»	»	»	»	1.02785	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
8000-9000	»	»	»	»	»	»	»	»	1.02810	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»

$S\frac{\theta}{4}$

Profondeurs m.	ATLANTIQUE N.				ATLANTIQUE S.				PACIFIQUE N.				PACIFIQUE S.				OCÉAN INDIEN			
	FOND		INTERM.		FOND		INTERM.		FOND		INTERM.		FOND		INTERM.		FOND		INTERM.	
	$S\frac{\theta}{4}$	N	$S\frac{\theta}{4}$	N	$S\frac{\theta}{4}$	N	$S\frac{\theta}{4}$	N	$S\frac{\theta}{4}$	N	$S\frac{\theta}{4}$	N	$S\frac{\theta}{4}$	N	$S\frac{\theta}{4}$	N	$S\frac{\theta}{4}$	N	$S\frac{\theta}{4}$	N
0-50	»	»	1.02529	9	»	»	1.02524	21	»	»	1.02380	31	»	»	1.02478	29	»	»	»	»
50-100	»	»	1.02619	14	»	»	1.02600	22	»	»	1.02450	35	»	»	1.02509	30	»	»	1.02691	5
100-500	1.02610	1	1.02693	43	1.02620	3	1.02688	47	»	»	1.02602	72	»	»	1.02632	70	1.02796	1	1.02731	14
500-1000	»	»	1.02761	38	1.02799	1	1.02747	45	1.02722	2	1.02707	63	1.02723	1	1.02721	60	»	»	1.02739	11
1000-2000	1.02882	2	1.02792	5	1.02742	2	1.02784	14	1.02752	2	1.00751	14	1.02782	2	1.02755	19	»	»	»	»
2000-3000	1.02741	1	1.02868	2	1.02803	6	1.02790	3	»	»	»	»	1.02789	12	1.02769	6	1.02756	3	»	»
3000-4000	1.02845	10	1.02809	1	1.02808	10	1.02801	2	1.02783	6	1.02761	3	1.02804	10	1.02782	14	1.02791	4	»	»
4000-5000	1.02853	26	1.02883	1	1.02818	12	»	»	1.02779	11	1.02763	9	1.02799	20	1.02781	3	1.02786	1	»	»
5000-6000	1.02883	13	»	»	1.02842	1	»	»	1.02780	18	1.02763	5	1.02844	1	»	»	»	»	»	»
6000-7000	»	»	»	»	»	»	»	»	1.02788	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
7000-8000	»	»	»	»	»	»	»	»	1.02773	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
8000-9000	»	»	»	»	»	»	»	»	1.02797	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»

L'inflexion de température du fond, dans l'Atlantique nord, qui atteint 1°.7 est sans importance parce qu'elle ne résulte que d'une observation unique faite par la faible profondeur de 155 mètres, à 100 milles au sud d'Halifax, le 20 mai 1873, c'est-à-dire au moment de l'année où le courant descendant du nord et constituant le *Cold Wall* est particulièrement froid.

L'augmentation brusque de S°_{4} dans les régions superficielles de l'océan s'explique par la forte température qui caractérise celles-ci.

Dans l'Atlantique nord et sud, depuis la surface jusque vers 2500 m, les eaux intermédiaires sont plus chaudes que celles du fond, à même profondeur. Le contraire a lieu pour le Pacifique nord et sud ainsi que pour l'Océan Indien.

Entre 2500 et 3500 m environ, la température est la même au fond et dans les eaux intermédiaires.

Au-dessous de 3500 m, la température est toujours moindre pour le fond que pour les couches intermédiaires, à égale profondeur. L'exception de l'Atlantique nord et sud relative à la température du fond, quoique très nette sur la figure, est néanmoins douteuse à cause du petit nombre des observations qui ont contribué à l'établir.

La température au contact du fond aussi bien que celle des eaux intermédiaires, décroît très rapidement de la surface jusque vers 1500 m environ où se présente un point d'inflexion; elle diminue ensuite régulièrement et doucement à mesure que la profondeur augmente. La zone d'activité maximum de l'océan n'a donc certainement pas plus de 1500 m d'épaisseur, depuis la surface.

L'Atlantique nord et l'Atlantique sud subissent de grandes variations de S°_{4}; les autres océans sont plus réguliers à ce point de vue.

Dans l'océan tout entier, les eaux profondes sont moins salées ou, en d'autres termes, possèdent un S°_{4} moindre que les eaux superficielles et, à égalité de profondeur, l'eau en contact avec le fond est plus salée que les eaux intermédiaires. La différence augmente vers la surface. La Méditerranée présente le phénomène inverse[1].

Ces lois ne sont nulle part en contradiction avec celles que j'ai établies en me servant d'un mode de représentation tout différent[2]. Le travail qui date de plusieurs années n'a jamais été publié au complet, pas plus que le graphique. C'est pourquoi je le résumerai ici.

Le *CHALLENGER* a adopté comme densité normale la valeur $S_{4}^{15.56}$. Les relations étant évidemment les mêmes que pour S°_{4}, j'avais alors admis cette valeur afin d'échapper à de longs et fastidieux calculs. Je n'avais d'ailleurs pas encore établi les formules et surtout les graphiques de correction des densités qui rendent les réductions si précises et si promptes à effectuer.

[1] J. Thoulet. *Sur une série verticale de densités d'eaux marines en Méditerranée*, C. R. Ac. Sc. T. CXXXIV, p. 1459, 16 juin 1902.

[2] J. Thoulet. *Océanographie* (Dynamique), p. 118.

Le graphique (Pl. III, fig. 2) a été dressé en plaçant les unes à côté des autres et à égale distance les stations de chaque océan disposées par ordre de date c'est-à-dire se suivant géographiquement à peu de chose près, et en marquant sur chacune d'elles, à sa profondeur, depuis la surface jusqu'au fond, les points où ont été recueillis les échantillons. Chaque point est accompagné de son $S_4^{15.56}$ mesuré par M. J. Y. Buchanan. Pour faciliter les comparaisons, j'avais même, dans l'original, employé des couleurs différentes.

On reconnaît sur le graphique que les densités absolues, à partir du fond, décroissent jusqu'à une certaine hauteur et croissent ensuite. On constate ainsi l'existence de deux zones, l'une inférieure épaisse, à stratification directe, l'autre supérieure, mince, à stratification variée. Dans cette dernière se manifestent ordinairement plusieurs alternances à des intervalles d'autant plus petits qu'on se rapproche davantage de la surface.

Sur une même verticale, la plus forte densité de la série se trouve à la surface de sorte que l'eau du fond est moins chargée de sels que celle de la surface.

Il semble exister, très près du fond, une couche mince, moindre de 100 brasses où la variation de la densité absolue a lieu très rapidement et souvent même est intervertie.

Si on joint, sur le graphique (Pl. III) les points où sur chaque verticale, l'ordre des densités absolues est interverti, c'est-à-dire ceux où en remontant du fond vers la surface, la densité absolue cesse de décroître pour augmenter; si de plus on marque encore sur chaque verticale et à l'aide des courbes thermiques relatives à chaque station, le point à partir duquel la température commence à décroître, c'est-à-dire le sommet de la courbe grossièrement parabolique ou hyperbolique qui représente la distribution de la température, on obtient deux lignes brisées, sections de deux surfaces situées au sein des eaux océaniques et dont l'étude conduit aux conclusions suivantes.

1. L'unité de composition chimique de l'eau de mer n'existe pas.

2. Le niveau de la surface d'interversion des densités absolues change avec la localité et probablement avec la saison de l'année.

3. Le niveau moyen de la surface d'interversion est voisin de 500 brasses ou 1000 mètres à partir de la surface, dans l'Atlantique nord et sud, de 300 brasses ou 600 mètres dans le Pacifique sud. Les variations de profondeur sont considérables dans l'Atlantique nord, moindres dans l'Atlantique sud, faibles dans l'Océan Indien et le Pacifique sud, extrêmement faibles dans le Pacifique nord. Le niveau moyen d'interversion sert de limite supérieure à la zone des eaux tranquilles et de limite inférieure à la zone des eaux fortement remuées.

4. Le niveau de la surface de variation thermique lente diffère aussi avec la localité et, pour une même localité, avec la saison de l'année. Il est situé à la distance moyenne de 400 brasses ou 800 mètres de la surface mais il subit de grands écarts de profondeur surtout dans l'Atlantique nord. Il est généralement plus

rapproché de la surface que le niveau d'interversion de densité dans l'Atlantique sud, plus bas dans le Pacifique nord et sud.

5. La courbe d'interversion de densité absolue et la courbe de variation thermique lente ne paraissent point avoir une relation nette avec la profondeur du fond.

6. Les deux courbes ne sont pas très éloignées l'une de l'autre, mais elles ne coïncident pas.

7. La véritable zone d'activité chimique serait immédiatement contiguë au fond et son épaisseur ne dépasserait pas une centaine de brasses soit environ 200 mètres.

Tous ces faits s'expliquent par l'influence des variations climatiques (marche du soleil, régime des pluies, glaces polaires, vents, nébulosité, etc.) qui produisent des phénomènes d'évaporation et d'échauffement ayant pour conséquence immédiate une circulation océanique superficielle et aussi profonde, l'une très active, l'autre infiniment moins énergique et néanmoins réelle. Dans la zone contiguë au fond où l'eau chargée de sels est en contact avec le sol immergé et les sédiments tombés de la surface, s'exercent des réactions chimiques signalées en particulier dans la Mer Noire et dans la Méditerranée par Natterer et dont le résultat est une modification dans la composition de l'eau.

Retournons maintenant aux tableaux de densités et d'analyses des échantillons recueillis par la *Princesse-Alice* et indiquons, sur un même schéma, en ordonnées les profondeurs, en abscisses les températures de fond (soulignées) et d'eaux intermédiaires se rapportant à tous les échantillons pris par le *Challenger* uniquement dans l'Atlantique nord (marques noires) et à ceux récoltés par la *Princesse-Alice* en 1901 et 1902 (marques circulaires à centre blanc) dans le même océan (Pl. IV, fig. 2). Joignons à ce graphique celui de l'unique sondage en série effectué dans la Méditerranée [1]. Grâce à la teinte plate grise qui les couvre, on voit combien les températures sont mieux groupées s'il ne s'agit que d'une région restreinte comme celle qu'a étudiée la *Princesse-Alice* et combien aussi elles s'éparpillent, surtout au voisinage de la surface, si quoique faisant partie d'un même océan, elles se rapportent à des localités éloignées les unes des autres.

On observe un éparpillement plus exagéré encore si l'on représente de la même façon (Pl. IV), sur un second graphique, les $S\frac{0}{00}$ de l'Atlantique nord fournis par le *Challenger* et la *Princesse-Alice* ainsi que la même tendance au groupement régulier de la surface jusqu'au fond, si la région est relativement restreinte.

La vérification se continue (Pl. IV, fig. 1) sur les graphiques relatifs aux halogènes et à l'acide sulfurique se rapportant seulement aux échantillons de la *Princesse-Alice* dont l'analyse a été faite dans mon laboratoire.

[1] J. Thoulet. C. R. Ac. Sc. *loc. cit.*

Le graphique (Pl. v) est particulièrement caractéristique. Il montre la relation qui, dans l'eau de mer, existe entre la densité absolue S°_{4}, les halogènes et l'acide sulfurique. La densité absolue S°_{4} est prise en abscisses tandis que les ordonnées indiquent soit les halogènes, soit la teneur en acide sulfurique. Les limites d'erreurs expérimentales sont marquées graphiquement et l'on peut, d'un coup d'œil, se rendre compte du degré d'exactitude des courbes, d'une manière aussi frappante qu'indiscutable. Il s'en dégage un fait d'une extrême importance théorique et pratique. Les points sont distribués non sur une *ligne* droite ou courbe mais sur une *aire*. Il en résulte qu'à une même densité normale S°_{4} correspondent, aussi bien pour les halogènes que pour l'acide sulfurique, plusieurs points situés évidemment sur la même verticale mais à des distances verticales les uns des autres de beaucoup supérieures aux limites d'erreur.

Les résultats des analyses faites à Monaco par M. Sabrou, des échantillons d'eaux rapportés de la campagne de la *Princesse-Alice* en 1903 dans le golfe de Gascogne, ont été ajoutés à ce graphique en les marquant par des croix. S'appliquant à une région plus restreinte que les miens qui comprennent des eaux allant géographiquement de la Méditerranée jusqu'au-delà de l'archipel du Cap-Vert, ils offrent moins de variations dans le sens horizontal, ce qui n'a rien de surprenant. Mais ils manifestent aussi bien pour les halogènes que pour l'acide sulfurique, les mêmes variations dans le sens vertical et par conséquent confirment de la façon la plus formelle la conclusion précédente.

Or toute table impliquant une relation fixe et immuable est figurée graphiquement par une ligne. Puisqu'il n'en est pas ainsi pour les caractéristiques physiques et chimiques de l'eau de mer, on peut affirmer de la façon la plus formelle que toute table, de quelque manière qu'elle ait été calculée, tendant à établir une relation de ce genre n'est qu'une simple approximation de la vérité, incapable de servir à des travaux précis. Les eaux de l'océan n'offrent point une unité de constitution chimique et ne sauraient par conséquent, à aucun titre, être comparées à des dissolutions dans une quantité plus ou moins grande d'eau distillée d'un même mélange de différents sels dans des proportions respectives constantes. On est en droit d'affirmer qu'en réalité, il n'existe pas dans l'Océan tout entier, deux gouttes d'eau de composition rigoureusement identique et cette circonstance est des plus heureuses car elle donne la possibilité, par l'analyse chimique à laquelle se joignent les caractéristiques physiques telles que la température et la densité, de suivre, grâce à leurs variations successives et continues, les molécules d'un même filet liquide, c'est-à-dire d'un même courant, dans leur marche si irrégulière qu'elle puisse être, au sein de l'énorme masse des eaux marines environnantes. C'est l'individualité de chaque goutte d'eau, individualité établie par mesure directe et non par raisonnement et par conséquent indiscutable, qui permet d'aborder avec certitude d'y réussir, la découverte des secrets, pour la plupart encore inconnus, de la circulation océanique.

L'examen des graphiques aussi bien que l'observation directe, montrent l'extrême

diversité des conditions d'équilibre de la masse des eaux océaniques ayant pour conséquence une circulation de ces eaux. La science s'efforce d'en découvrir les lois qu'elle ne connaît encore qu'assez incomplètement. La pratique a procuré un certain nombre de notions sur les phénomènes superficiels; les phénomènes profonds sont presque entièrement ignorés. Si les eaux sont de moins en moins troublées à mesure qu'elles baignent de plus profonds abîmes, leur repos n'est ni absolu ni éternel et, dans l'économie mécanique d'une partie d'entre elles, en particulier de celles appartenant à la zone immédiatement contiguë au sol, il y a lieu de prendre en considération des événements accidentels qui, si l'on en permet l'expression, ne cessent pas d'être accidentels. Ce rôle semble particulièrement attribuable aux courants d'origine volcanique dont l'existence est prouvée directement par les vagues provenant des secousses séismiques si fréquentes qu'elles se manifestent sur l'océan plusieurs fois chaque jour et indirectement par les couches minces de sable intercalées au milieu de la masse vaseuse des dépôts sous-marins. Sans entrer dans l'examen détaillé de ces plaquettes rapportées par le tube sondeur, lorsque la nature des grains qui les composent est identique à celle des grains sableux obtenus par la lévigation des vases qui les englobent — ce que j'ai constaté fréquemment — il est évident qu'ils proviennent de la lévigation opérée par des courants passagers rasant le fond, balayant les portions légères et laissant en place le sable trop lourd pour être déplacé. Les eaux vaseuses analysées par M. Sabrou corroborent cette hypothèse. Après ce lavage momentané, la sédimentation régulière vaseuse par les particules venues de la surface ou produites sur place se continue telle qu'elle avait lieu auparavant et la trace du courant volcanique ne subsiste que sous la forme de la mince couche de sable. La présence de ces couches minces dans les bancs calcaires prouve que ces événements s'accomplissaient aux périodes anciennes de l'histoire de la terre comme ils s'accomplissent au fond de l'océan actuel.

Cependant il existe d'autres courants situés à des profondeurs intermédiaires dont la régularité est probablement assez grande. Ils passent à travers la masse des eaux, dûs à des causes certainement multiples, au premier rang desquelles l'action antagoniste de la chaleur équatoriale et du double froid polaire arctique et antarctique, ainsi que l'évaporation. Toutes ensemble tendent à rétablir un équilibre continuellement troublé et jamais obtenu. L'étude de ces courants est difficile sans être impossible.

La complication de la circulation augmente du fond vers la surface. Le sol océanique est divisé topographiquement en cuvettes ou bassins accolés les uns aux autres, reliés par des sortes de couloirs, avec bordures montagneuses constituant des régions à systèmes d'équilibre particuliers. Il en est de même sur les continents où des bassins plats ou creux environnés de montagnes forment au point de vue météorologique, climatique, botanique, zoologique, politique et même social, des unités presque indépendantes les unes des autres. Dans la masse des eaux océaniques, la zone d'agitation maximum est à la surface supérieure tout comme, dans l'océan

aérien, elle occupe la surface inférieure. L'une et l'autre sont adjacentes. Bien qu'il y ait identité, en principe, entre les deux océans liquide et aérien, la différence de subtilité de l'eau et de l'air donne forcément à la mer une activité de beaucoup inférieure dans les mouvements; on est ainsi amené à concevoir l'océan comme une juxtaposition physique aussi bien que topographique, de bassins dont chacun possède son individualité de régime créée par sa position même ou bien encore par l'espèce d'intégrale d'un travail naturel ayant duré des siècles et peut-être des périodes géologiques. Chacun d'eux est limité par des frontières plus ou moins contournées dont le premier besoin de la science est de posséder l'image. Telle est la raison pour laquelle il était indispensable à l'océanographie de dresser une carte générale précise de la topographie océanique.

Chaque bassin offre un pays géographique nettement limité et ne pouvant, au moins d'une façon régulière, qu'être d'autant plus paisible dans son régime qu'il est plus profond et mieux isolé. Au-dessus de la crête des montagnes servant de bordure s'étend une nappe liquide comparable à la nappe aérienne qui recouvre les plus hautes cimes de nos Alpes ou de nos Pyrénées. C'est dans sa masse que se font sentir les mouvements et que doivent exister les courants, réseau de veines et d'artères qu'aucun obstacle ne gêne dans son développement, se compliquant de plus en plus à mesure qu'il s'élève davantage jusqu'à ce qu'il atteigne son summum d'activité et aussi d'irrégularité à la surface même. Là est le domaine commun de l'eau et de l'air, de l'évaporation, du chaud et du froid, dans leurs excès opposés quoique, en définitive, ils tendent aux mêmes résultats, champ d'étude appartenant à l'océanographie aussi bien qu'à la météorologie, où tout est cause de troubles violents et accidentels, où rien n'est atténué dans ses conséquences, la pluie qui tombe, la marée, le fleuve dont l'apport d'eau douce et de sédiments change selon la saison, la tempête dont les vagues agitent les eaux plus ou moins profondément, l'action même de la lumière qui fixe les limites de la zone de vie pour les plantes et pour les animaux. A la surface de l'eau s'exercera l'océanographie pratique; l'océanographie théorique, vaste et grandiose regardera plus bas et l'homme de science cherchera dans les abîmes les secrets des grandes lois de la circulation océanique. Dès qu'elles seront découvertes, l'esprit sera maître de la règle; il sera capable de remplacer les données empiriques par des données certaines puisqu'elles seront la vérité même, plus sûres et par conséquent plus pratiques encore que les données purement pratiques.

L'indépendance du régime abyssal dans des bassins océaniques différents a une conséquence que j'avais depuis longtemps énoncée et que l'expérience amenée par les années confirme toujours davantage. Dans l'étude de la mer, il faut se garder d'éparpiller géographiquement les efforts mais au contraire les concentrer sur des espaces restreints dont l'investigation détaillée et précise devra être poussée aussi loin que possible. Le temps des grandes campagnes océanographiques est passé; des monographies, même isolées, seront fructueuses et, dans l'avenir, rien ne sera plus

facile et plus simple que de les rattacher les unes aux autres si l'on a eu le soin de les exécuter d'après les mêmes principes.

Les courants profonds s'étudieront de deux façons : par des procédés directs et des procédés indirects.

Les procédés directs consistent dans l'emploi des mesureurs mécaniques dont les uns se bornent à agir uniquement comme indicateurs et les autres comme indicateurs et compteurs. Le nombre de ces instruments est considérable, depuis celui d'Aimé, et cette remarque est peut-être la critique de leur efficacité réelle. Utiles à de faibles profondeurs, ils sont d'un emploi difficile aussitôt que le fond s'éloigne. Ils sont en outre coûteux et délicats à manœuvrer.

Les dragues à courants, le flotteur de Mitchell ou même les simples bouteilles accouplées de Hautreux sont au contraire d'un prix à peu près nul et d'un maniement aisé. C'est encore de ces appareils que je conseillerais l'usage surtout en profitant, pour prendre les mesures, de la bouée de nasse servant de station fixe en haute mer. Il faudra certainement recourir à eux lorsqu'on aura sérieusement résolu d'élucider l'économie des courants de demi-profondeur. On abandonnerait le flotteur qu'on se bornerait à suivre et l'on mesurerait par un procédé optique de télémétrie la distance parcourue en un temps donné depuis la bouée de la nasse. La drague serait faite aussi large que possible et, au contraire, sa bouée flottante juste assez grande pour être aperçue sans trop de difficulté à la surface de l'eau. On mettrait le système à la mer en partant de la bouée de nasse et on le laisserait dériver en notant l'instant du départ. Le bâtiment l'escorterait et son éloignement, après un temps connu, serait évalué soit astronomiquement soit, pour une distance moindre, par un observateur resté en embarcation près de la bouée fixe et au moyen de la hauteur des mâts. Peut-être tirerait-on bon service, pour avoir la possibilité de s'éloigner davantage de la bouée de nasse, de signaler celle-ci par un cerf-volant. On profiterait encore pour se livrer à cette opération de la nuit qui, d'ordinaire, suit la mise à l'eau de la nasse et qu'on passe à croiser en vue des feux de manière à commencer le chalutage dès le matin du jour suivant. En procédant ainsi, on n'aurait pas la moindre perte de temps. Quelques mesures de ce genre ne tarderaient pas à fixer d'une manière définitive la pratique du procédé. Je doute cependant que ces doubles flotteurs permettent de dépasser de beaucoup un millier de mètres de profondeur, de sorte que leur emploi semble devoir être limité aux profondeurs moyennes. Il en est tout autrement si l'on fait appel aux mesures physiques.

L'identité, la personnalité d'une eau de mer sera fixée par ses caractéristiques : sa densité à zéro $S^{\frac{0}{00}}$ ou densité normale, le total des halogènes (chlore, brome, iode) qu'elle contient au kilogramme, enfin sa teneur en acide sulfurique SO^3. Ces données mesurées directement sur chaque échantillon, en seront les caractéristiques statiques. La façon de les obtenir a été indiquée en détail. Il serait possible d'en trouver

d'autres mais ce soin est inutile et chacune de celles citées étant complètement indépendante, trois suffisent amplement à faire reconnaître un échantillon d'eau de mer sans la moindre crainte de confusion.

Mais si les caractéristiques statiques définissent parfaitement l'échantillon, elles restent muettes sur le rôle de celui-ci au sein des eaux océaniques. Pour obtenir cette information, il faudra recourir à la caractéristique dynamique c'est-à-dire au chiffre représenté par le symbole S_4^0 ou $n\,S_4^0$, poids du litre d'eau alors que, superficiel ou profond, il jouait dans la nature, à l'état de courant, le rôle qu'on ignore et qu'on désire connaître; en d'autres termes, son poids à la température *in situ* θ et corrigé de la compression exercée par les n mètres d'eau sus-jacente, s'il a été récolté à la profondeur de n mètres.

Pour obtenir ces diverses caractéristiques statiques et dynamiques en un point quelconque de l'océan, on recueillera des échantillons d'eaux suivant une verticale et en aussi grand nombre que possible. L'analyse fixera les caractéristiques de chacun d'eux et l'on possèdera ainsi une sorte de coupe verticale au point choisi qui permettra, dès qu'on aura deux de ces séries au voisinage l'une de l'autre, d'établir l'état d'équilibre relatif entre les deux files de molécules aqueuses, c'est-à-dire la marche des eaux de l'un de ces points vers l'autre dans l'épaisseur entière de l'océan, depuis la surface jusqu'au fond. Trois de ces séries voisines, non en ligne droite, constitueront des séries de plans parallèles où l'état d'équilibre sera facile à établir. On procédera comme l'ingénieur qui se rend compte de la présence et de l'allure d'une couche de houille par trois sondages exécutés dans les conditions indiquées.

Je me suis proposé de multiplier le nombre des échantillons pris sur une même série en consacrant le moins de temps possible à l'opération. On ne pouvait parvenir à ce résultat qu'en diminuant leur volume car il fallait faire porter au fil de sonde un grand nombre de bouteilles afin d'obtenir en deux ou trois coups de sonde, au plus, au même endroit, une série d'échantillons suffisamment rapprochés les uns des autres. Assuré que la pression dans les profondeurs n'obligeait pas à donner des parois épaisses et lourdes aux bouteilles[1], j'ai demandé au Dr Richard de chercher le modèle d'un instrument très léger ayant d'assez faibles dimensions pour qu'il fût possible d'en superposer plusieurs le long du fil sans risquer de le rompre. Le Dr Richard a résolu habilement le problème en imaginant la bouteille qui porte son nom et qui, munie de son thermomètre, rapporte environ 300 g d'eau. Cette quantité sur laquelle on commence par prendre une vingtaine de centimètres cubes qui servent à rincer le flacon de 250 g dans lequel on la conserve, suffit à donner tous les renseignements nécessaires. La détermination de la densité S_4^0 n'exige pas une goutte de liquide car celui qui a servi est ensuite employé à la détermination des halogènes qui en demande 10 cmcb ou à la détermination de l'acide sulfurique qui s'exécute

[1] J. Thoulet. *Sur une modification à apporter à la construction des bouteilles destinées à recueillir les échantillons d'eaux profondes.* C. R. Ac. Sc. T. CXVI, p. 334. 13 février 1893.

avec une parfaite exactitude sur 100 cmcb. Il reste donc une centaine de centimètres cubes au moins qui permet de recommencer, en cas de besoin, un dosage manqué ou même de doser d'autres corps tels que l'ammoniaque, sur 60 cmcb, et de parer aux éventualités.

Les résultats des analyses sont mis sous forme de courbes ce qui leur communique la continuité en outre des avantages communs à tous les graphiques. La Pl. VI représente les graphiques des caractéristiques de quatre séries situées au voisinage des Açores, aux localités possédant les coordonnées suivantes :

Stn. 1427-1430-1432-1435 $\begin{cases} \lambda = 43^\circ\ 07'\ \text{N.} \\ \text{L} = 22^\circ\ 10'\ \text{W.} \end{cases}$

Stn. 1324-1326..... $\begin{cases} \lambda = 38^\circ\ 39'\ \text{N.} \\ \text{L} = 27^\circ\ 26'\ \text{W.} \end{cases}$

Stn. 1328..... $\begin{cases} \lambda = 38^\circ\ 40'\ \text{N.} \\ \text{L} = 28^\circ\ 41'\ \text{W.} \end{cases}$

Les échantillons récoltés pendant la campagne de 1902 ont donné des valeurs portées dans les tableaux de la p. 82. Les profondeurs sont en ordonnées tandis que les abscisses mesurent en même temps les degrés de température, les densités normales et *in situ*, les teneurs en halogènes et en acide sulfurique. Ces valeurs sont respectivement reliées par des courbes continues. Pour plus de netteté, sur les dessins originaux, la courbe des températures est tracée en bleu, celle des S°_{oo} en trait noir pointillé, celle des S°_{oo} en trait noir plein, tandis que les halogènes sont en rouge et la teneur en acide sulfurique en vert.

Cherchons maintenant à faire servir les caractéristiques statiques et dynamiques des échantillons d'eau de mer à la connaissance de la circulation océanique profonde.

Si la masse des eaux océaniques était uniformément distribuée sur le globe entier, tous les continents étant supposés arrasés, la terre serait une sphère solide partout recouverte d'une même épaisseur d'eau évaluée à 2300 mètres environ. Dans cet océan, en admettant qu'il y eût uniformité de climat, que les vents, l'évaporation et les autres causes perturbatrices soient supprimées, l'eau serait distribuée en couches concentriques de densité $n\,S^{\circ}_{oo}$ croissante depuis la surface jusqu'au fond, tout comme dans un flacon contenant du mercure, de l'alcool et du pétrole, les liquides étant en repos, le mercure occupe le fond et est surmonté par l'alcool surmonté lui-même par le pétrole. Toutes les conditions mécaniques, physiques et chimiques seraient identiques pour une même nappe enveloppant la terre entière, à égale distance du centre. L'océan cherche continuellement cet idéal et ne l'atteint jamais; c'est par les courants attribuables aux troubles divers apportés à l'uniformité de constitution physique et chimique des molécules d'eau de mer que sans cesse, il s'efforce vainement de parvenir à cet équilibre idéal.

Trois stations I, II, III disposées en triangle autant que possible équilatéral et à distance convenable les unes des autres, où l'on aura récolté des échantillons en série qui auront été ensuite analysés ainsi qu'il a été dit précédemment, permettront de trouver graphiquement, à une profondeur quelconque, l'état de la circulation à cette profondeur, c'est-à-dire la direction, l'intensité et le plongement du courant qui y règne. Les stations indiquées plus haut serviront d'exemples.

Les trois plans verticaux passant par I-II, II-III et I-III forment les trois faces latérales d'un prisme triangulaire compris entre la surface et le fond de l'océan. On peut les développer graphiquement sur une feuille de papier où ils se présenteront sous l'aspect de trois rectangles juxtaposés.

Pour chacune de ces trois stations, on a construit le graphique des caractéristiques (Pl. VI); on construit ensuite d'une manière analogue les courbes des $n S_{\frac{1}{2}}$ rapportées aux mêmes axes de coordonnées, les profondeurs en ordonnées et les valeurs de $n S_{\frac{1}{2}}$ en abscisses (Pl. VII). On obtient ainsi trois lignes obliques, brisées, irrégulières qui, en général, ne seront pas parallèles mais tantôt se couperont et tantôt s'écarteront plus ou moins les unes des autres.

Afin de simplifier le problème, considérons d'une part le graphique rectangulaire représentant la face du prisme ayant pour arêtes les verticales suivant I et II, par exemple, et d'autre part, le graphique des $n S_{\frac{1}{2}}$ se rapportant à I et à II.

Chaque fois que les deux lignes des $n S_{\frac{1}{2}}$ se coupent, on est averti qu'à la profondeur indiquée par l'ordonnée du point de rencontre, la caractéristique $n S_{\frac{1}{2}}$ est la même sur la verticale de I et celle de II et, par conséquent, que à cette profondeur, la droite horizontale tracée sur le graphique rectangulaire est une droite d'équilibre mécanique. En d'autres termes une molécule liquide occupant un point quelconque de cette droite A'B', ne tend à se diriger ni vers A', ni vers B'.

En revanche, sur le graphique des $n S_{\frac{1}{2}}$, là où les deux lignes brisées sont séparées l'une de l'autre, deux points A' et B' situés sur la même verticale et appartenant respectivement à l'une et à l'autre ligne brisée, indiqueront que, à deux profondeurs différentes, sur I-A' et sur II-B', indiquées d'ailleurs en ordonnées, le $n S_{\frac{1}{2}}$ possède la même valeur et que, par conséquent, sur le graphique rectangulaire, la droite joignant, à l'échelle, le point A' au point B', *quoique non horizontale*, est pourtant une droite d'équilibre mécanique telle que toute molécule d'eau qui y est placée n'est sollicitée à couler ni du côté de A' ni du côté de B'.

En considérant sur la verticale de la troisième station — ce qui est très facile graphiquement — un point C' ayant le même $n S_{\frac{1}{2}}$ que A' et B', on possède un triangle plus ou moins incliné, d'équilibre ou de niveau mécanique, où les molécules ne sont sollicitées ni vers A', ni vers B', ni vers C'.

Par n'importe quel point des arêtes du prisme triangulaire, il est possible de faire passer un plan d'équilibre mécanique.

Supposons maintenant un plan isobathe du prisme, c'est-à-dire dont tous les points sont situés à la même distance de la surface de la mer, il coupera les trois faces

du prisme suivant un même triangle horizontal ABC représenté par une droite horizontale unique sur le graphique rectangulaire. Mais les trois sommets de ce triangle possédant même n puisqu'ils sont à la même profondeur, n'auront généralement pas le même $S‰$. Les valeurs de $S‰$ correspondant à chacun des points A, B et C se trouveront sur les graphiques des séries verticales respectives.

Par le sommet possédant le plus fort $S‰$, A par exemple, faisons passer le plan d'équilibre mécanique (AA') B'C'. Les deux triangles ABC et (AA') B'C' découpent sur chaque face du prisme deux droites, l'une AB bathymétriquement horizontale mais mécaniquement oblique, la seconde (AA') B' bathymétriquement oblique puisque, à ses deux extrémités, le $S‰$ étant différent, il en sera de même du n, mais mécaniquement horizontale c'est-à-dire en équilibre.

Or la ligne AB qui n'est pas en équilibre tendra à s'y mettre en se confondant avec (AA') B ou en se plaçant parallèle à celle-ci au cas où les points A et A' ne se confondraient pas. En d'autres termes, les molécules d'eau qui l'occupent et sont comparables aux molécules liquides superficielles contenues dans deux vases communiquants au-dessus d'un même plan de niveau, marcheront par rapport à la droite de niveau mécanique (AA') B' dans le sens du plus faible $S‰$ vers le plus fort $S‰$, c'est-à-dire de B vers (AA') avec une vitesse proportionnelle au gradient des densités, ce nom désignant la différence des $S‰$ en B et en (AA') divisée par la distance AB ou A'B' pratiquement égale.

En fait, les deux plans ABC et A'B'C' seront toujours très rapprochés l'un de l'autre. On pourra donc sans erreur sensible construire, en lui donnant sur le papier l'orientation qu'il possède dans la nature, le triangle ABC dont les trois côtés sont connus et le confondre avec A'B'C'. Alors suivant chacune des droites AB, AC, BC, en chacun des points A, B, C, on construira en grandeur (rapportée au gradient des densités) et en direction, la force entraînant les molécules d'eau situées sur chacune de ces trois droites.

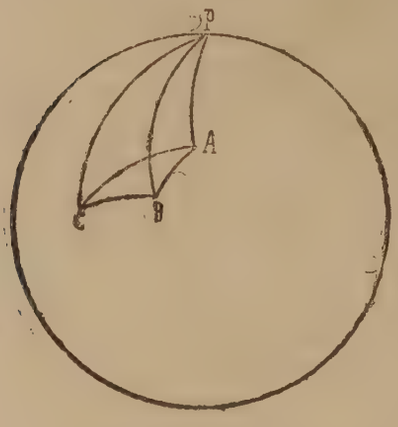
Si le triangle est suffisamment petit pour qu'on soit en droit d'admettre que les molécules y sont affectées de la même façon sur toute sa surface, en un point quelconque de cette surface, on tracera les trois composantes ainsi trouvées; on en construira ensuite, d'après le parallélogramme des forces, la résultante totale et celle-ci représentera en direction et en longueur (à l'échelle du gradient des densités), la force entraînant les molécules d'eau c'est-à-dire le courant marin à la profondeur considérée.

Le plongement du courant sera l'angle des deux plans ABC et A'B'C' passant tous deux par le point (AA'). On le construira graphiquement.

Les intensités des courants seront, quelles que soient la localité et la profondeur considérées, mesurées en fonction du gradient des densités et par conséquent comparables entre elles. Si l'on veut les évaluer en nœuds de vitesse, il faudra par quelques expériences directes préalables établir la relation existant entre cette vitesse et un certain nombre de gradients connus.

Prenons comme exemple la recherche des courants se faisant sentir aux profondeurs de 150, 1000 et 1500 m au-dessous du triangle ayant pour sommets les trois localités indiquées.

On commence par tracer, à l'aide des données analytiques contenues dans les tableaux et se rapportant aux stations 1427-1430-1432-1435 pour A, 1324-1326 pour B, 1328 pour C, les trois graphiques (Pl. VI) des caractéristiques des trois stations. Puis, les $n S_t$ étant calculés pour les trois séries, on les représente graphiquement (Pl. VII) à deux échelles différentes, la plus petite donnant l'ensemble entre la surface et le fond, la plus grande entre la surface et 100 m de profondeur.



On calculera ensuite trigonométriquement les distances respectives des trois stations par la résolution d'un triangle sphérique ABP dont on connaît deux côtés et l'angle compris, savoir

AP et BP — compléments des latitudes de A et de B.

Angle en P — différence des longitudes de B et de A.

On emploiera les formules

$$\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} PA \cos P$$

$$\cos AB = \frac{\cos PA \cos (PB - \varphi)}{\cos \varphi}$$

On calculera de même AC. Les points B et C ayant à peu près la même latitude et BC étant relativement petit, il est plus simple de considérer le triangle PBC comme birectangle en B et en C et de calculer le côté BC en partant du côté PB complément de la latitude de B et de l'angle en P, différence de longitude des points B et C, au moyen de la formule

$$\operatorname{tg} BC = \sin PB \operatorname{tg} P.$$

La longueur des côtés obtenue en degrés, minutes et secondes est réduite en minutes et le nombre en est ensuite multiplié par 1855, longueur en mètres d'une minute d'arc terrestre. On trouve ainsi

AB = 6° 1' 30" = 361',5 = 670582 m
AC = 6° 41' 50" = 402' = 745710 »
CB = 0° 59' 20" = 59',3 = 119715 »

Les distances séparant entre elles les trois stations étant obtenues, on peut construire le prisme et son développement. Sur les deux développements indiqués Pl. VII, les longueurs AB, AC et BC sont prises égales à ces distances, mais sur la figure de droite, l'échelle des ordonnées qui représente les profondeurs est, pour plus de netteté, de 1mm pour mètre jusqu'à 200 mètres tandis qu'elle n'est que de 1mm pour 10 mètres, c'est-à-dire dix fois moindre pour la figure de gauche qui s'étend de la surface jusqu'à 2000 m de profondeur. Sur ces développements, rien ne sera plus facile que de tracer les plans d'équilibre mécanique d'inclinaison minimum c'est-à-dire nulle, ou maximum. Il suffira de s'aider du double graphique des $n\,S\frac{1}{1}$. Les plans d'équilibre mécanique minimum ou horizontaux seront figurés aux profondeurs où, sur les graphiques des $n\,S\frac{1}{1}$ se coupent les lignes relatives à deux stations. Ils représentent les plans sans courant. Les plans d'obliquité maximum seront situés aux deux profondeurs correspondant à l'écart vertical maximum de deux de ces lignes $n\,S\frac{1}{1}$

Cherchons maintenant les caractéristiques du courant passant par le plan isobathe de 150 m de profondeur. Nous verrons tout à l'heure les motifs de ce choix. Nous nous servirons pour cette étude du graphique des $n\,S\frac{1}{1}$ et du développement du prisme exécutés à grande échelle.

Le plan isobathe de 150 m sera figuré sur le développement prismatique par la droite horizontale indiquée en traits interrompus. En se reportant au graphique des caractéristiques des stations (Pl. VI), on voit que, à 150 m, sur chacune des verticales de A, de B et de C, les $S\frac{1}{1}$ sont respectivement

verticale de A.....	1.02698
verticale de B.....	1.02691
verticale de C.....	1.02684

Le plus fort $S\frac{1}{1}$ qui est 1.02698 se trouvant sur la verticale de la station A, c'est par le point A que passera le plan d'équilibre mécanique dont les trois sommets devront avoir la même valeur 1.02770 qui est celle du $n\,S\frac{1}{1}$ correspondant à la profondeur de 150 m sur le graphique de la Pl. VII. Or on reconnaît sur ce même graphique que la valeur $n\,S\frac{1}{1} = 1.02770$ correspond, sous la station B à une profondeur de $171 = 150 + 21$ m, avec un $S\frac{1}{1} = 1.02688$ et, sous la station C, à la profondeur $160 = 150 + 10$ mètres avec un $S\frac{1}{1} = 1.02694$. Les traces du triangle sur les faces du prisme sont figurées en trait plein.

Considérons la face prismatique comprise entre les verticales C et A. La droite (1.02694-1.02698) est l'intersection du plan triangulaire d'équilibre mécanique, en quelque sorte droite de niveau des vases communiquants, et la droite (1.02691 — 1.02770) est celle du plan triangulaire isobathe de 150 m. Sur cette dernière, les

molécules vont du plus faible S_t^0 (1.02691) vers le plus fort S_t^0 (1.02770) avec une vitesse proportionnelle à la pente ou gradient de densité, c'est-à-dire

$$\frac{1.02698 - 1.02691}{745710} = \frac{0.00007}{745710} = 0.000009$$

Pareillement, le gradient de B vers A sera

$$\frac{1.02698 - 1.02684}{670582} = \frac{0.00014}{670582} = 0.000021$$

et le gradient de B vers C

$$\frac{1.02691 - 1.02684}{119715} = \frac{0.00007}{119715} = 0.000058$$

Construisons en plan et en lui donnant son orientation géographique, le triangle ABC que nous pouvons pratiquement confondre avec le triangle A'B'C' et dont nous connaissons les côtés. En un point O de sa surface, menons parallèlement aux côtés respectifs, des droites proportionnelles

au côté AB = 0.000021
au côté AC = 0.000009
au côté BC = 0.000058

et construisons d'après le parallélogramme des forces la résultante de ces trois composantes. Nous aurons la droite orientée N. 58° W. et d'intensité 0.000051.

Le plongement du courant est l'angle formé dans le plan (AA') BC par la résultante passant au point (AA'), avec le plan (AA') B'C'. Pour l'obtenir, on mène par cette résultante en (AA'), dans le plan (AA') BC un plan vertical dont l'intersection avec les deux plans triangulaires et la face prismatique CB est un triangle AMM' rectangle en M et dont l'angle MAM' = α est le plongement cherché. On calculera de la façon suivante les éléments de ce triangle AMM'.

Dans le plan de la face prismatique contenant CB, les deux triangles semblables CBS, CMT donnent

$$\frac{BC}{BS} = \frac{CM}{CT} \text{ ou } \frac{119715}{21 - 10} = \frac{1430000}{x - 10}$$

d'où $$x - 10 = \frac{1430000 \times 11}{119715} = \frac{15730000}{119715} = 131$$

$$x = MM' = 131 + 10 = 141 \text{ m.}$$

Dès lors on peut construire, le côté AM étant mesuré directement sur la figure, le triangle rectangle. L'angle MAM' $= \alpha$, plongement descendant du courant, s'obtiendra par la formule

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{141}{1160000}$$

$$\alpha = 25''$$

En opérant de même pour les plans isobathes de 1000 et de 1500 m de profondeur, on aura

isobathe	150.	Direction	N. 58° W.	Intensité	0.000051.	Plongement	25"	desc.
—	1000	—	N. 71° W.	—	0.000164.	—	1' 14"	—
—	1500	—	N. 9° E.	—	0.000068.	—	25"	—

L'inspection des courbes des halogènes et de l'acide sulfurique (Pl. VI) sur les graphiques des trois points montre bien par leur coude brusque aux profondeurs considérées, surtout à 150 m, qu'il s'agit d'eaux offrant entre elles une grande ressemblance chimique et une non moins grande dissemblance avec les eaux voisines, ce qui confirme les résultats fournis par les données pycnométriques. C'est d'ailleurs ainsi que nous avons été conduits à choisir, pour donner aux exemples le plus de netteté possible, les plans isobathes de 150, 1000 et 1500 m. Mais il est évident que pareilles constructions auraient pu être faites à n'importe quelle profondeur. Avec un peu d'habitude, il est facile, à la simple inspection des courbes, de distinguer la place et l'intensité probables des courants les plus importants et c'est pour ce motif que, pour l'étude de la circulation profonde, le premier soin doit être l'observation attentive des graphiques.

On conclut de l'ensemble des faits précédents qu'à la mer, les conditions les plus favorables sont de choisir, pour y récolter les séries verticales d'échantillons, trois stations disposées sensiblement en triangle équilatéral et, même en plein océan où les circonstances ont le plus de chances d'être uniformes, distantes au plus d'une centaine de milles les unes des autres.

Ce procédé de mesure ne saurait s'appliquer avec son extrême rigueur qu'aux courants profonds. Les faits énoncés sont vrais au voisinage de la surface et à la surface même où les eaux marchent du bord des continents, région de densité faible, vers le centre des océans où par suite de l'évaporation et du non-afflux des eaux douces continentales, elles possèdent une forte densité. Cependant, dans ces régions superficielles, les phénomènes météorologiques atmosphériques, climat, saison, vent, glaces, la configuration géographique des continents et d'autres causes encore, exercent une influence perturbatrice de beaucoup prépondérante.

Il serait du plus extrême intérêt d'étudier en détail l'afflux, le long des côtes, des eaux douces provenant de l'apport des fleuves visibles et très probablement des eaux invisibles absorbées par le sol subaérien sur la surface entière des continents et amenées tôt ou tard à la mer après avoir suivi les pentes des couches. Or, cette quantité d'eau équivaut aux deux tiers environ de la quantité de pluie tombée sur l'aire continentale, le dernier tiers étant constitué par l'eau immédiatement évaporée. Les nombreuses sources d'eau douce voisines des rivages sont la preuve évidente de cet apport d'eau en même temps souterraine et sous-marine.

Les courants ascendants seront indiqués sur les développements prismatiques par le relèvement du plan d'équilibre mécanique passant par le sommet du plus fort $S\frac{1}{2}$ du triangle isobathe au-dessus de ce plan isobathe. La condition est loin d'être impossible mais elle semble devoir être plus rare que la condition inverse des courants descendants. A la surface de la terre tous les courants d'eau sans exception sont descendants. Pour l'océan, si l'on veut se rendre compte de la circulation et s'expliquer la compensation qui doit fatalement s'effectuer, il faut tenir compte de l'évaporation s'exerçant sur la surface entière des eaux et plus particulièrement dans la zone tropicale. L'eau des courants descendants serait compensée beaucoup moins par des courants ascendants que par une sorte d'allégement général s'exerçant à la surface, en conséquence de l'évaporation. Pour rendre l'image plus sensible, on pourrait comparer l'océan à un vaste réservoir continuellement vidé par des pompes plus nombreuses dans les régions équatoriales chaudes que dans les régions polaires froides et dont les orifices d'aspiration seraient plongés à l'extrême surface de la nappe des eaux.

VI. — ÉTUDE SUR LA TRANSPARENCE ET LA COULEUR DES EAUX DE MER.

La transparence de la mer a depuis longtemps fait l'objet d'investigations scientifiques. Déjà Marsigli, à la fin du XVII[e] siècle, étudiait la « diafanité » en même temps que la couleur des eaux, en notant la distance à laquelle disparaissait et apparaissait à la vue un poisson de couleur rouge appelé en Provence « saran », attaché à un hameçon. Il fixait la limite de visibilité, en Méditerranée, entre 7 et 11 brasses, selon la localité et les circonstances ambiantes au moment de l'expérience[1]. Après lui, Muncke faisait descendre dans le Pacifique un écran blanc et prenait lui aussi pour mesure de la transparence de l'eau la distance à laquelle cet écran disparaissait. Le même procédé fut encore employé par Kotzebue en 1817, par Wilkes de 1838 à 1842, enfin en 1845 par le contre-amiral Bérard[2] certainement ignorant des recherches déjà exécutées et qui reconnut qu'aux îles Wallis dans le Pacifique, une assiette de porcelaine blanche restait visible jusqu'à 40 mètres de profondeur.

Passant sous silence les travaux d'ailleurs assez peu importants faits à ce sujet par plusieurs autres marins ou savants, on arrive aux premières expériences méthodiques du P. Secchi et du C[t] Cialdi, en 1865, au large de Civita-Vecchia, à bord de l'*IMMACOLATA CONCEZIONE* de l'ancienne marine pontificale[3]. Elles consistèrent à mesurer les distances de disparition, dans des conditions bien déterminées, de disques blancs ou de diverses couleurs immergés dans la mer.

Les résultats obtenus furent les suivants :

1. Au-delà d'une certaine limite de profondeur, la dimension du disque est sans influence sur la distance de disparition. Aussi, s'appuyant sur cette loi, les observateurs firent-ils désormais leurs mesures en se servant uniquement d'un disque blanc d'un diamètre de 30 centimètres.

2. Il est avantageux d'employer pour constater l'apparition ou la disparition du

[1] Marsigli. *Histoire physique de la mer*, p. 20.

[2] Arago. *Notes sur quelques résultats obtenus pendant le voyage du capitaine Bérard à la Nouvelle Zélande*. Œuvres complètes, t. IX, p. 487.

[3] Cialdi. *Sul moto ondoso del mare*, p. 234.

disque, une lunette d'eau, simple tube fermé par un verre plan dont on plonge l'extrémité de quelques centimètres dans la mer. Les rides de la surface sont ainsi supprimées et la vision devient incomparablement plus nette.

3. La transparence augmente avec la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon. Cette influence est faible. Il en est de même de la couleur du ciel et de sa sérénité plus ou moins grande.

4. La couleur blanche est celle qui possède la visibilité maximum.

M. F. A. Forel[1] exécuta en 1873 des recherches analogues dans le lac de Genève. Il reconnut la variabilité de la transparence avec la localité et constata qu'elle était plus considérable en eau profonde qu'en eau peu profonde. Il reconnut aussi que, dans le Léman, la limite de visibilité d'un disque blanc éclairé par la lumière du jour se trouve par une profondeur moyenne de 21 mètres; qu'il y a dans la transparence une variation annuelle qui rend les eaux moins limpides en été qu'en hiver; enfin que les causes limitant la transparence des rayons lumineux à une distance aussi petite sont, pour une faible partie, l'absorption de la lumière par l'eau pure, pour une grande partie, la formation d'un écran opaque dû à la superposition optique des poussières en suspension dans l'eau.

En 1883, une Commission nommée par la Société de Physique et d'Histoire naturelle de Genève[2] fit, dans ce même lac Léman, des expériences dans des conditions un peu différentes. Elle mesurait en effet la distance maximum d'apparition nette et celle d'apparition diffuse de sources lumineuses diverses, lampes à huile ou électriques immergées dans l'eau et observées la nuit avec une lunette d'eau. Les conclusions de la Commission furent les suivantes.

1. La lumière diffuse se propage à une distance approximativement double de celle à laquelle on cesse d'apercevoir nettement le point lumineux.

2. La transparence varie avec l'état de limpidité de l'eau et avec la dimension de la source lumineuse mais il n'y a point proportionnalité entre cette dimension et la limite de visibilité. En d'autres termes l'influence de la dimension de la source lumineuse est faible.

3. L'eau du Léman est plus transparente en hiver qu'en été.

4. La limite de visibilité nette augmente avec l'intensité de la lumière quoique bien moins rapidement que cette dernière.

[1] F. A. Forel. *Le lac Léman*, Genève 1886 et *De la pénétration de la lumière dans les lacs d'eau douce.* Festschrift für Albert von Kölliker, 1887; l'*Eclairage des eaux profondes du lac Léman.* Association française pour l'avancement des sciences, Congrès d'Oran, 1888. — *Le Léman*, monographie limnologique, optique. T. II, p. 408.

[2] *Rapport sur les expériences préliminaires de la Commission pour l'étude de la transparence du lac*, présenté à la Société de Physique et d'Histoire naturelle de Genève, le 3 août 1884. Archives des sciences physiques et naturelles, août 1884, t. XII, présenté par M. I. L. Soret. — *Recherches sur la transparence des eaux du lac Léman, faites en 1884, 1885 et 1886 par une réunion de membres de la Société de Physique.* Rapport rédigé au nom de la Commission par M. Albert Rilliet. Mémoires de la Société de Physique et d'Histoire naturelle de Genève, t. XXIX, n° 11, Genève 1887.

5. Une source lumineuse concentrée par une lentille fournit une limite de visibilité plus grande que lorsque cette même source n'est pas concentrée; cependant la différence est encore relativement peu importante.

6. La transparence est maximum avec la lumière rouge.

En 1891, le Dr P. Regnard[1] s'occupa, au point de vue spécialement biologique, des phénomènes optiques et exécuta à ce propos de très ingénieuses expériences soit dans le laboratoire, soit à la mer. C'est ainsi qu'il parvint à déterminer à quelle profondeur se rencontrent des conditions de durée et d'intensité du jour à peu près comparables à celles dont nous jouissons au fond de l'espèce d'océan gazeux que constitue notre atmosphère, en d'autres termes, à quelle heure commence et finit le jour dans telle ou telle couche de la mer habitée par des animaux et par des végétaux.

Les derniers travaux sur la transparence des diverses eaux de mer sont dûs à Luksch[2]. Il s'est servi comme la plupart de ses prédécesseurs, d'un disque blanc dont il porta le diamètre à 50 centimètres. Ses expériences exécutées à la mer avec beaucoup de soin pendant les diverses campagnes de la *Pola* dans la Méditerranée orientale, la mer Egée et la mer Rouge, l'ont amené aux conclusions suivantes. Il comparait en même temps la transparence des eaux avec leur coloration évaluée à l'aide de l'échelle de Forel.

1. Les eaux sont d'autant plus transparentes qu'elles sont plus bleues et d'autant moins transparentes qu'elles sont plus jaunes.

2. Plus le soleil est haut et plus la transparence est grande; l'influence est faible et d'autant plus faible que l'eau est plus jaune.

3. La transparence moyenne de la Méditerranée orientale est de 33 mètres; celle de la mer Egée de 31 mètres, celle de la mer Rouge de 21 mètres seulement.

4. La transparence diminue en un même lieu de l'hiver, au printemps, à l'automne et enfin à l'été, saison pendant laquelle elle est minimum.

5. Plus l'eau contient de sel et plus elle est transparente. Les différences sont faibles.

6. La transparence est moindre dans les eaux peu profondes que dans les eaux profondes.

Les lois trouvées par ces divers observateurs peuvent se résumer de la façon suivante :

I. La transparence augmente ou diminue selon que l'eau est plus limpide ou plus chargée de troubles; elle est donc fonction de la quantité de sédiments en suspension. Toutes les causes modifiant cette quantité modifient également la transparence.

[1] P. Regnard. *Recherches expérimentales sur les conditions physiques de la vie dans les eaux*, p. 188 et suivantes.

[2] Josef Luksch. *Untersuchungen über die Transparenz und Farbe des Seewassers*. Expedition von S. M. Schiff *Pola* im Mittelländischen, Agäischen und Rothen Meere in den Jahren 1890-1898. Wien 1900. Voyez aussi J. Thoulet. *La transparence et la couleur de l'eau de mer* d'après le mémoire du Prof. S. Luksch. Revue scientifique, t. XVI, p. 737-741, 24 décembre 1901.

II. L'intensité de l'éclairement de même que la dimension de la source lumineuse n'ont qu'une faible influence sur la transparence.

J'ai cherché à vérifier synthétiquement ces diverses lois et à les préciser davantage en essayant de trouver la relation exacte entre la transparence et les sédiments en suspension, de manière à être en état de doser par une mesure de transparence, c'est-à-dire par un procédé optique, le poids en général extrêmement faible de ces derniers dans des eaux déterminées.

On commence par préparer un liquide opaque type.

On place dans un grand verre rempli d'eau une poignée de kaolin blanc qui a été préalablement lévigé et soigneusement dépouillé de tous les grains minéraux très fins et généralement quartzeux qu'il contient. On agite, on laisse déposer pendant un quart d'heure ou une demi-heure, on décante; le liquide laiteux servira de solution opaque type.

Pour y doser l'argile en suspension, on en prend un volume connu, 25 cmcb par exemple, qu'on fait évaporer; on dessèche à 100° et on pèse. Si on désire obtenir des solutions étendues de richesse connue, il suffira d'ajouter à 5 cmcb de la solution type 5, 10, 15.... cmcb d'eau limpide et d'agiter. Un calcul bien simple fournira dans chaque cas la teneur en argile.

On remplit de la solution ainsi titrée une lunette horizontale portée sur un pied susceptible de s'élever ou de s'abaisser à volonté. La lunette terminée par deux glaces parallèles mais sans aucun système de lentilles, est formée de deux cylindres pénétrant à frottement doux l'un dans l'autre. Une graduation en millimètres parcourue par un index mobile permet de mesurer la distance séparant les deux glaces et par conséquent l'épaisseur de la couche opaque. L'écartement est produit par une crémaillère commandée par une vis à mouvement doux et une sorte de récipient vertical en communication avec l'intérieur de la lunette est destiné à contenir la provision d'eau argileuse ou son excès selon qu'on augmente ou qu'on diminue la capacité du double tube en éloignant ou rapprochant les deux glaces l'une de l'autre.

Dans ces conditions, une première série de mesures a été faite en plaçant en plein jour, dans le laboratoire, la lunette à une distance constante de 50 cm d'une feuille de papier bristol blanche peinte en noir avec de l'encre de Chine sauf un cercle central se détachant par conséquent en blanc et ayant un diamètre de 3 cm. La feuille piquée sur une planchette était maintenue verticalement. On remplissait la lunette de solutions plus ou moins concentrées et, sans la changer de place, on allongeait ou diminuait la colonne d'eau trouble de manière à faire disparaître complètement le cercle blanc. Pour plus de précision, chaque mesure était prise successivement par deux et quelquefois par trois observateurs.

Poids x d'argile par litre g.	Transparence y 0.1 mm	xy	Poids x d'argile par litre g.	Transparence y 0.1 mm	xy
15.792	5.0	79.0	1.315	60.0	78.6
7.892	9.0	71.0	1.127	68.5	77.4
6.708	11.0	73.8	0.987	82.0	81.2
5.524	13.0	71.8	0.877	90.5	80.5
4.735	15.5	73.4	0.789	101.5	80.2
3.946	19.5	76.9	0.717	112.0	80.6
3.157	24.0	75.8	0.481	169.0	81.1
2.631	30.0	78.9	0.376	212.0	80.5
1.973	41.0	80.8	0.304	279.0	83.7
1.578	49.5	78.1			

Si on reporte sur un papier quadrillé en millimètres, en abscisses les poids d'argile évalués en grammes par litre et en ordonnées les transparences en dixièmes de millimètre, on constate que les points se trouvent rangés sur une courbe présentant la plus grande ressemblance avec une hyperbole équilatère.

Afin de vérifier si telle est bien en réalité la courbe, on a fait le produit xy pour chaque mesure et ensuite la moyenne de ces produits. On trouve un nombre constant égal dans ce cas particulier à 78. La véritable hyperbole équilatère $xy = 78$ étant tracée mathématiquement par points, ramasse tous les points marqués expérimentalement à une distance inférieure à 0.1 millimètre pour les solutions très chargées en argile et à peine supérieure pour les solutions peu chargées, quantités absolument comprises dans les limites d'erreurs expérimentales.

On est donc fondé à énoncer la loi suivante.

La courbe qui relie l'épaisseur y *exprimée en dixièmes de millimètre d'une solution rendue plus ou moins opaque par l'addition d'un poids* x *variable et exprimé en grammes par litre d'argile fine avec ce poids d'argile, épaisseur nécessaire pour faire disparaître à la vue un cercle blanc marqué sur un fond noir, est une hyperbole équilatère de la forme* $x\,y = \varepsilon$.

La valeur constante ε est évidemment fonction de l'éclairement plus ou moins intense du point lumineux et peut-être de la distance qui sépare celui-ci de l'œil de l'observateur. Pour étudier ces variables, le procédé expérimental a été un peu modifié.

Une caisse à quatre parois seulement, en planchettes minces, a été construite et posée sur une table; sa paroi verticale postérieure était supprimée complètement tandis que sa paroi horizontale supérieure l'était sur une moitié de sa longueur. Sa paroi antérieure verticale, d'une surface de 30 × 30 cm était percée en son milieu

d'un trou rond de 3 cm de diamètre. L'intérieur était peint en blanc et l'extérieur en noir mat. De plus, le plancher de la caisse reposant sur la table portait une graduation en centimètres indiquant la distance au trou circulaire. Le trou était fermé par un papier huilé derrière lequel était installée la source lumineuse dont on pouvait, par conséquent, mesurer la distance. Du côté opposé, en face du trou et à son niveau, était la lunette chargée d'eau bourbeuse. Comme sources lumineuses on a employé 1 bougie, 2 bougies, un bec de gaz papillon plus ou moins ouvert de manière à émettre une lumière plus ou moins vive, un bec Auer et enfin de la lumière oxyhydrique produite en envoyant un mélange d'oxygène et de gaz d'éclairage sur un bâton de chaux. L'unité de lumière était la bougie placée à 20 cm derrière le papier huilé.

Afin d'évaluer en unités-bougies les diverses sources lumineuses, le papier complètement huilé du trou était remplacé par un papier identique mais dont le centre seul était huilé. On plaçait de part et d'autre les deux sources lumineuses à comparer et on rapprochait ou éloignait l'une d'elles jusqu'à la disparition de la tache. On mesurait alors les distances. C'est le procédé connu de photométrie.

L'appareil permettait donc de modifier à volonté toutes les variables du problème, savoir : l'intensité lumineuse, le poids de matière argileuse en suspension, l'épaisseur de la colonne de liquide trouble, la distance de la lunette au point lumineux et enfin l'évaluation en bougies des diverses sources lumineuses.

Les expériences étaient faites dans l'obscurité sauf, bien entendu, la source lumineuse disposée de manière à éclairer seulement le trou et à ne point diffuser sa lumière.

Nature de la courbe. — Le premier usage qui a été fait du dispositif décrit a été de vérifier la nature de la courbe représentant graphiquement la relation entre l'opacité de l'eau et l'épaisseur nécessaire pour éteindre la source lumineuse. On s'est servi de la lumière d'un bec Auer donnant un éclairage égal à celui de 38.5 bougies et par conséquent très supérieur à la lumière du jour simplement réfléchie par un cercle tracé sur du papier bristol blanc se détachant sur un fond noir dans les conditions de l'expérience préliminaire. Le bec Auer était placé à 20 cm de l'écran lumineux.

Poids x d'argile par litre g.	Transparence y 0.1 mm	$x\,y$	Poids x d'argile par litre g.	Transparence y 0.1 mm	$x\,y$
7.308	1.85	135.2	1.044	13.5	140.4
4.872	2.8	136.4	0.914	15.6	142.0
3.654	3.75	136.9	0.812	17.1	138.5
2.436	5.5	134.2	0.731	19.9	145.3
1.827	7.6	139.1	0.664	21.4	141.2
1.462	9.9	144.5	0.562	24.9	139.4
1.218	11.9	145.2	0.450	32.0	143.0

Les valeurs x portées en abscisses et les valeurs y en ordonnées sur un papier quadrillé se disposent encore suivant une hyperbole équilatère, résultat confirmant l'expérience préliminaire. En faisant la moyenne des produits xy, on trouve le nombre constant 140, ce qui permet de représenter l'hyperbole particulière au bec Auer par l'équation $xy = 140$.

Diminution de surface de la source lumineuse. — Cette variable pourra évidemment se mesurer en éloignant plus ou moins la lunette de l'ouverture lumineuse puisque le diamètre apparent de celle-ci diminue à mesure qu'on s'en éloigne davantage.

Les résultats obtenus sont inscrits dans le tableau suivant.

Source lumineuse : bec Auer = 38.5 bougies à 20 cm.

Eau chargée de 2.436 gr de kaolin par litre

Distance à la source lumineuse cm	Transparence 0.1 mm	Distance à la source lumineuse cm	Transparence 0.1 mm
10	43	90	»
20	49	100	57
30	56	200	56
40	57	300	56
50	57	400	56
60	57	500	56
70	58	600	56
80	57	700	56

On voit que la distance, c'est-à-dire le diamètre apparent de la source lumineuse, est sans influence sensible; le trouble seul de l'eau possède une importance.

Mesure en bougies de l'intensité des diverses sources lumineuses. — L'unité de lumière est 1 bougie brûlant à 20 cm derrière l'écran. Le procédé photométrique adopté a été décrit précédemment.

1 bougie.....	1	bougie
2 bougies.....	2	—
3 bougies.....	3	—
4 bougies.....	4	—

Bec papillon	10	bougies
— (plus ouvert)	20	—
Bec Auer	38.5	—
Lumière oxyhydrique	119.0	—

Influence de l'intensité lumineuse. — Distance de la source lumineuse à l'écran = 20 cm.

Distance constante de la lunette à l'écran = 50 cm.

Eau chargée de poids variables de kaolin par litre.

Intensité lumineuse	Poids de kaolin par litre. gr.			
	4.872	2.436	1.462	1.044
1 bougie	20.5	44.0	»	102.0
2 —	21.0	46.0	»	113.0
3 —	22.0	48.5	»	117.0
4 —	24.0	50.5	»	121.0
10 —	25.0	51.5	85.0	125.0
20 —	27.0	54.0	»	130.0
38.5 —	28.5	57.0	»	136.0
119.0 —	32.0	64.0	»	148.0

Ces valeurs portées en courbes sur du papier quadrillé, ainsi qu'il a été dit plus haut, montrent :

1° La persistance de la forme d'hyperbole équilatère quelles que soient l'intensité de la source lumineuse et la proportion de matière argileuse en suspension dans l'eau.

2° L'influence réelle mais en définitive assez faible de l'intensité de la source lumineuse sur la transparence. Le fait avait d'ailleurs été constaté pratiquement par le P. Secchi et Luksch.

Variation de l'hyperbole équilatère en fonction de l'intensité lumineuse. — Les tableaux précédents permettent d'établir la variation de la courbe avec l'intensité lumineuse. En effet l'équation de l'hyperbole équilatère étant $xy = \varepsilon$, on a, pour chaque source lumineuse et pour chaque expérience, calculé le produit xy du poids x d'argile en grammes au litre d'eau par l'épaisseur y de la couche d'eau trouble nécessaire pour éteindre le point lumineux. On a ensuite pris la moyenne de ces produits, moyenne qui d'ailleurs présentait une différence pratiquement insensible avec le produit relatif à chaque point ainsi qu'on le voit sur la Planche VIII où sont marquées les

positions des divers points obtenues par mesure directe. La première expérience, on se le rappelle, a été faite à la lumière du jour, la source lumineuse étant un simple rond de papier bristol blanc sur fond noir et évaluée à 0.75 bougie.

bougies	0.75.....	$xy = \varepsilon =$	78
—	1.....	—	104
—	2.....	—	111
—	3.....	—	116
—	4.....	—	120
—	10.....	—	126
—	20.....	—	133
—	38.5.....	—	140
—	119.0.....	—	154

Ces valeurs ε ont été mises en courbe (Pl. VIII) en prenant comme abscisses l'intensité en bougies de la source lumineuse et les ε en ordonnées. On reconnaît que ε augmente rapidement depuis l'obscurité complète jusqu'à une dizaine de bougies, mais qu'au delà, il croît de plus en plus lentement avec l'intensité croissante de la source lumineuse.

Les résultats précédents permettent de doser optiquement le poids x en grammes par litre des sédiments en suspension dans l'eau d'une localité quelconque. Il suffira pour cela de noter en dixièmes de millimètre la distance y de disparition d'un disque blanc et d'appliquer la formule $x = \frac{\varepsilon}{y}$.

Quand on exécute des mesures à la mer, on constate que le disque de Secchi présente certains inconvénients. Au large, le bâtiment étant maintenu aussi immobile que possible, il est rare qu'un courant n'entraîne pas ce disque qui s'éloigne et présente alors la tranche à l'observateur de sorte que celui-ci, au lieu d'un cercle, n'aperçoit plus qu'une ligne blanche manifestant même un mouvement d'oscillation assez gênant. En outre d'un changement de dimension vraiment excessif, il se fait un changement de forme rendant incertaine la perception de la disparition. Le disque faisant résistance dans l'eau, est souvent pénible à remonter d'autant plus qu'il est soutenu par une cordelette graduée assez fine. Pendant mes expériences il m'est arrivé que la cordelette s'est brisée et que le disque ainsi que le poids de plomb qui le lestait sont partis à la mer. Je l'ai remplacé par une boule creuse en cuivre ayant exactement 15 cm de diamètre. Elle est peinte en blanc, munie d'un goulot fermé par un bouchon et attachée avec une cordelette graduée à chaque mètre par un brin de ficelle ordinaire noué, chaque 5 mètres, par un chiffon bleu et chaque 10 mètres par un chiffon rouge. Sa forme offre moins de résistance quand on la remonte. Pour la lester, on y introduit des balles de plomb et l'on peut ainsi modifier à volonté sa densité ce qui

permet de l'employer aussi comme flotteur de surface, dans certaines mesures de courants [1], en ne la lestant pas, ou comme flotteur immergé en lui donnant, par une surcharge convenable de balles de plomb, une densité tantôt exactement égale et tantôt supérieure à celle de l'eau.

Les mesures de transparence à la mer ou dans les lacs, afin de se placer dans des conditions aussi analogues que possible à celles dans lesquelles ont été établies les formules, devront toujours être faites en s'aidant d'une lunette d'eau.

En exécutant une mesure de transparence, pour être précis, il faudrait dans chaque cas évaluer d'abord l'éclairement en bougies ou fractions de bougie, chercher d'après la courbe le ε correspondant et appliquer alors pour l'appréciation finale des poids de matières en suspension dans l'eau, pour chaque transparence mesurée, la formule $x = \frac{\varepsilon}{y}$. On serait ramené ainsi à l'emploi préalable d'un photomètre, instrument qui jusqu'à présent, n'a pas été rendu suffisamment simple et pratique pour servir à bord et entraîné à une série d'opérations longues et délicates pour arriver à une précision qui, quoiqu'on fasse, ne sera jamais qu'approchée. Dans ces conditions, il vaudrait mieux adopter pour ε une valeur moyenne applicable dans tous les cas. La valeur $\varepsilon = 40$ me semble assez rapprochée de cette moyenne.

Dans l'expérience préliminaire faite à la lumière du jour, dans le laboratoire avec un cercle en papier blanc sur fond noir, on a trouvé $\varepsilon = 78$. Or cette valeur est notoirement au-dessus de la moyenne s'il s'agit de mesures sur le terrain. L'éclairement de la boule dans la mer est d'autant plus faible que celle-ci est descendue plus bas puisque, pour l'éclairer, la lumière venant du ciel a dû traverser la couche d'eau comprise entre la surface de l'eau et la boule sur une distance précisément égale à la transparence. Pour nous guider dans le choix du ε à adopter dans les conditions ordinaires, prenons un exemple.

Luksch a trouvé par des mesures directes que la transparence moyenne de la Méditerranée orientale était de 33 mètres. Faisons le calcul du poids de la matière

[1] Je crois qu'une pareille boule rendrait des services comme appareil indicateur et mesureur de courants superficiels ou profonds. Il suffirait d'établir mathématiquement ou empiriquement, à la suite d'expériences, une relation entre la dimension et le poids de la boule, l'inclinaison du fil maintenant celle-ci contre le courant et, d'autre part, la vitesse de ce courant. Le fil de suspension, en acier, serait assez fin pour permettre, même sur une assez grande longueur, de faire abstraction de son poids et de sa surface. On pourrait encore immerger la boule à une profondeur connue et mesurer l'intensité du courant à cette profondeur par le poids nécessaire pour que la boule résiste au courant et que le fil de suspension demeure vertical. On parviendrait à augmenter le poids de la boule jusqu'à établissement de la parfaite verticalité du fil en envoyant jusque dans la boule des poids additionnels successifs représentés par de petits messagers en plomb percés d'un trou et enfilés sur le fil. Cet appareil me semblerait devoir être plus particulièrement utile dans les expéditions polaires alors que rien ne permet de se rendre directement et immédiatement compte de la dérive de la glace. La boule serait mise à l'eau à travers une ouverture pratiquée dans la croûte glacée. Je suggère l'idée à un mathématicien qui établirait l'équation ou à un observateur qui, plus heureux que moi, habitant au voisinage de la mer, mesurerait aisément l'inclinaison ou la verticalité du fil, en marchant, en embarcation, à une vitesse connue, au milieu d'un port ou d'une rade sans courants.

en suspension par litre correspondant à 33 mètres de transparence en donnant à ε des valeurs différentes égale et inférieures à $\varepsilon = 78$.

On a $x = \frac{\varepsilon}{330000}$

$\varepsilon = 78$	$x =$ 0.00024 gr.
— 60	— 0.00018
— 50	— 0.00015
— 40	— 0.00012
— 30	— 0.00009

La différence entre $\varepsilon = 20$ et $\varepsilon = 78$ dans la valeur de x est donc de 15 dixièmes de milligramme seulement. Or aucune méthode par filtration ne permettrait d'obtenir une pareille approximation et elle offrirait de sérieuses difficultés à bord d'un bâtiment; elle aurait des chances considérables d'erreur et surtout demanderait un temps énorme car il faudrait filtrer au moins cent litres pour obtenir 1 centigramme de matière. Dans ces conditions, il me semble qu'on peut adopter sans erreur sensible pour les expériences à la mer la valeur $\varepsilon = 40$.

La règle pratique sera donc la suivante.

La mesure de la transparence de la mer se fait en immergeant une boule creuse, blanche, convenablement lestée, d'un diamètre de 15 centimètres, soutenue par une fine cordelette divisée et en mesurant, à travers une lunette d'eau, la distance à laquelle apparaît ou disparaît cette boule. Pour un éclairement ordinaire de jour, le quotient de la division du nombre constant 40 par la distance de disparition de la boule ou transparence évaluée en dixièmes de millimètre, donnera en grammes par litre le poids des sédiments en suspension dans l'eau.

Les mesures de transparence seront particulièrement intéressantes pour l'industrie des pêches. Pour la pêche à la sardine, par exemple, il est si important que les filets soient dissimulés à la vue du poisson qu'on teint ceux-ci en bleu afin que leur couleur se confonde le plus possible avec celle de la mer. Toute question de coloration étant laissée ici de côté, il est probable que la transparence est en relation avec la quantité de plankton. Des études sont à faire dans cet ordre d'idées. Au point de vue de l'océanographie pure, la transparence permettra de mesurer à l'embouchure des fleuves dans la mer, l'apport en sédiments à diverses époques de l'année, de se rendre compte de la clarification plus ou moins loin de l'embouchure c'est-à-dire de la distribution des sédiments sur le sol sous-marin.

La façon d'évaluer la coloration de l'eau des lacs et des rivières, a fait, surtout aux Etats-Unis, l'objet d'un grand nombre de recherches résumées par M. le Dr Ed. Imbeaux[1] qui, dans un mémoire relatif à cette question, décrit successivement la

[1] *Odeur, couleur et limpidité de l'eau*, par M. le Dr E. Imbeaux, ingénieur des ponts et chaussées à Nancy. Bulletin des séances de la Société des Sciences de Nancy, série III, t. IV, fasc. IV, novembre-décembre 1903, p. 197.

méthode du colorimètre de Tidy par comparaison avec des solutions de chromate jaune de potassium et de sulfate de cuivre, les procédés de Leeds, pour les eaux jaunes, par comparaison avec des solutions d'ammoniaque traitées par le réactif de Nessler et ceux de Allen Hazen avec le platino-cobalt.

Cette dernière méthode est adoptée par le service hydrographique du Geological Survey des Etats-Unis. « On prépare une solution type qui aura la couleur 500 en « faisant dissoudre 1, 246 g de chlorure platinico-potassique (P^2Cl^4, 2 KCl) contenant « 500 mmg de platine et 1 g de chlorure cobalteux hydraté cristallisé ($COCl^2$, $6H^2O$) « contenant 250 mmg de cobalt, avec 100 cmcb d'acide chlorhydrique concentré, « puis on étend d'eau distillée pour former 1 litre. On étend cette solution avec de « l'eau distillée pour former les dilutions 5, 10, 15.... 70 correspondant au nombre « de milligrammes de platine métallique contenus dans 1 litre, nombre qui définit « l'intensité de la couleur. Les types colorés ainsi obtenus sont conservés dans des « tubes de 100 cmcb de capacité, avec 20 cm de hauteur et bien à l'abri de la pous- « sière ».

C'est à ces types que l'on compare les eaux sous même épaisseur et comme, remplis de liquide, ils sont peu commodes à emporter dans les opérations sur le terrain, on les remplace par des verres colorés ayant exactement la même teinte et qu'on superpose en nombre plus ou moins considérable. En réalité, on n'a qu'une seule et même teinte et l'on se borne à mesurer l'intensité de cette teinte dans les eaux naturelles. Ce procédé ne pourrait servir pour l'eau de mer dont il s'agit, au contraire, d'évaluer la teinte, extrêmement variable, bien plus que l'intensité.

La coloration de la mer est actuellement évaluée et notée de la manière suivante par le Prof. F.-A. Forel et sa méthode est adoptée par la plupart des océanographes.

En embarcation, l'observateur regarde l'eau verticalement en se plaçant dans l'ombre, la tête couverte d'une étoffe noire ou simplement avec un parapluie noir. A bord d'un navire, on cherche vers l'avant l'endroit où la vague de refoulement non encore brisée, s'incline contre le flanc noir du bâtiment; on évite ainsi les effets de réflexion de la lumière du ciel et l'on aperçoit la véritable teinte de l'eau à laquelle on donne le numéro du tube d'une gamme colorimétrique contenant la nuance correspondante [1].

La gamme colorimétrique est fournie par des liquides colorés. On prépare deux solutions, l'une bleue et l'autre jaune qu'on mélange en proportions centésimales et auxquelles on attribue des numéros d'après la proportion en centièmes de liqueur jaune ajoutée à la liqueur bleue.

La solution bleue est l'eau céleste des pharmaciens au 1/200e, composée de 1 g de sulfate de cuivre, 9 g d'ammoniaque et 190 g d'eau. La solution jaune est faite en

[1] J. Thoulet. *Océanographie* (statique), p. 398.

dissolvant 1 g de chromate de potasse dans 199 g d'eau. Les deux liqueurs étant mélangées en proportions centésimales,

le n°	0	contient	0	jaune et	100	bleu	
—	10	—	10	—	90	—	
—	25	—	25	—	75	—	
—	50	—	50	—	50	—	etc.

On les enferme dans des tubes de verre blanc de 8 mm de diamètre intérieur et soudés à la lampe [1].

J'ai essayé cette méthode à la mer et n'en ai pas été très satisfait. La gamme, quoique contenue dans des tubes scellés, se conserve mal. Après un certain temps, plusieurs tubes — principalement ceux des teintes moyennes, vers le jaune — laissent apparaître un précipité et la teinte est alors complètement changée. J'ai appris cependant que cette décomposition pouvait être évitée en ajoutant aux mélanges contenant plus de 50 °/₀ de jaune, quelques gouttes d'ammoniaque jusqu'à ce que le liquide soit parfaitement limpide [2]. En second lieu, quelques précautions que l'on prenne, l'appréciation exacte de la teinte de la mer est à peu près impossible à cause des reflets, des scintillements, des ombres et des lumières. On aperçoit le plus souvent une succession rapide d'éclairs diversement colorés bien plutôt qu'une teinte uniforme. L'incertitude est plus grande encore lorsque, du bord, on considère la nappe entière des flots. Enfin l'aspect même des liqueurs types n'est pas facile à saisir parce que l'œil est troublé par les reflets lumineux du verre des tubes et par l'épaisseur différente du liquide suivant l'axe vertical du tube et ses portions latérales, à droite et à gauche. Plusieurs fois il m'est arrivé, même dans des conditions générales aussi parfaites que possible, de prier trois ou quatre de mes compagnons de voyage, de noter une teinte de mer en se servant d'une même gamme; non seulement leurs appréciations ont presque toujours différé, mais encore il leur arrivait de douter eux-mêmes de leur propre détermination.

En revanche, j'ai tiré meilleur parti d'un autre procédé également indiqué par le Prof. F. A. Forel, après Wittstein [3], celui du miroir à 45°.

Ce miroir est une glace étamée et peinte en couleur à l'huile, du côté du tain, afin d'être protégé contre l'action de l'eau. On la coupe en forme de rectangle de 14 × 10 cm environ et on l'incline à 45° sur un très léger bâtis en bois ou mieux sur une feuille de zinc repliée qui ne joue pas et ne risque pas, comme le bois, de faire casser la glace. Le support est percé de trous aussi nombreux que possible afin de donner moins de prise au courant, s'il en existe. Le tout s'emmanche au bout d'un bâton de longueur suffisante. On immerge le miroir à 30 ou 40 cm de profondeur; il

[1] J. Thoulet. *Océanographie* (statique), p. 397.
[2] F. A. Forel. *Le Léman*, T. II, p. 465.
[3] F. A. Forel. *loc. cit.* T. II, p. 463. Wittstein, Pogg. Ann. XLV. 474.

réfléchit alors une couche d'eau horizontale, d'épaisseur infinie et également éclairée dans toute sa longueur puisque partout elle est à la même distance de la surface. Il en résulte qu'en observant verticalement, on aperçoit une teinte uniforme plate, brillante quoique sans reflets ni jeux de lumière et qui est véritablement celle de l'eau dans les conditions indiquées. Si l'on enfonce davantage le miroir ou si on le tourne de manière à faire changer la direction de l'éclairage, la teinte se fonce légèrement, s'obscurcit sans changer de nuance.

Pendant la campagne de la *PRINCESSE-ALICE* en 1903, dans le golfe de Gascogne, j'ai essayé ce miroir en plusieurs localités, par des conditions d'éclairement variées, soleil, temps couvert et même pluie. J'ai constaté deux faits : l'excellent fontionnement de l'appareil qui donne des teintes à la fois transparentes et uniformes, ainsi que l'extrême variété de ces teintes. Un peintre a pu en copier à l'aquarelle sur du papier. Cependant, outre que cette copie peinte ne peut se noter directement par un chiffre et n'est, par conséquent, pas susceptible de servir de document scientifique, l'aspect même des deux teintes, l'une naturelle, humide et transparente, l'autre obtenue sur le papier, qui est sèche et opaque, diffère sensiblement. Il y a traduction et non identité. Il importait de trouver un moyen de noter la nuance de la mer en la comparant à une nuance aussi identique que possible. J'ai pensé à me servir dans ce but de l'échelle de Forel tout en m'efforçant de supprimer les inconvénients qu'elle présente et qui ont été énoncés précédemment.

Avec Forel, je distinguerai dans la couleur de l'eau :

La nuance ou teinte, c'est-à-dire les proportions différentes des couleurs fondamentales de la lumière qui y sont contenues.

Le ton, c'est-à-dire la proportion de noir mélangée à la nuance. Le ton est abaissé par mélange de blanc et élevé par mélange de noir.

J'ai remplacé les tubes à liquides de Forel par des verres colorés obtenus de la façon suivante :

On prend des plaques photographiques au gélatino-chlorure qu'on désargente en les plongeant dans un bain formé d'un mélange par parties égales d'hyposulfite de soude et de ferricyanure de potassium dissous dans une quantité d'eau suffisante pour donner une solution à 15 % environ. On lave à l'eau courante pendant deux ou trois heures et on laisse sécher.

On découpe alors au diamant chaque plaque de $8,5 \times 10$ cm en dix petits rectangles de $2 \times 3,5$ cm. Ils restent attachés les uns aux autres par la couche de gélatine qui y adhère et l'on a soin de ne pas les détacher de manière à les teindre tous d'un seul coup.

Il y a trois séries de verres colorés :

Série F : Echelle centésimale Forel,
Série M : Echelle Forel pour la mer,
Série U : Echelle Ule.

Série F. — On a préparé selon les indications précédentes une solution Forel bleue type à l'eau céleste et une solution type jaune au chromate de potasse, chacune au 1/200e.

On prépare ensuite une solution de bleu-diamine ayant la couleur de la solution type bleue. On en verse dans une cuvette plate à photographie et on y dépose deux fragments de plaque gélatinée désargentée; on les maintient immergés pendant un temps déterminé, variant entre 4 et 5 minutes, en agitant continuellement, absolument comme si ces fragments avaient été impressionnés et s'il s'agissait de les développer pour en faire des clichés photographiques. On retire du bain, on lave très rapidement sous un filet d'eau et on laisse sécher en maintenant les deux fragments verticaux.

On dépose horizontalement un colorimètre Dubosc. Pour cela il suffit de démonter l'appareil optique de l'instrument qui d'ordinaire est installé verticalement et de le fixer sur une planchette horizontale ou même légèrement relevée vers le haut. Devant l'une des deux ouvertures, on place une auge fermée par deux lames de verre incolore plan-parallèles et écartées l'une de l'autre de 10 mm, et on la remplit de liqueur type bleue Forel. Devant l'autre ouverture, on place les deux fragments l'un sur l'autre. On compare les intensités; si les verres manifestent une intensité trop forte, on les rejette; on étend de quelque peu d'eau la solution de bleu diamine et on teint deux autres verres gélatinés qu'on essaie comme précédemment. Si les verres présentaient une intensité trop faible, on foncerait la liqueur bleue en ajoutant quelques gouttes d'une solution plus concentrée de bleu-diamine et l'on teindrait deux nouveaux fragments de verre gélatiné qu'on laisserait moins longtemps dans le bain. En résumé, on procèdera par tâtonnements, en se guidant sur une comparaison au colorimètre avec la liqueur bleue type de Forel, en étendant ou en fonçant la liqueur diamine ou bien en augmentant ou en diminuant la durée d'immersion dans le bain jusqu'au moment où les deux morceaux de verre offriront exactement la teinte *o* de Forel. On teint alors définitivement les plaques, on les lave, on les fait sécher en les tenant verticalement puis on isole les petits rectangles qui, accouplés deux par deux, fourniront maintenant le numéro *o* de la série F.

L'emploi de deux lames de verre gélatiné superposées a pour but d'éliminer l'effet fâcheux des petits points lumineux susceptibles de se trouver sur l'un ou l'autre des verres et aussi pour obvier aux nuages qui auraient pu se produire. L'opération est, en réalité, beaucoup moins longue et plus simple qu'on ne serait tenté de le croire.

On recommence l'opération avec un bain d'acide picrique permettant de teindre deux rectangles de façon à ce que, accolés deux à deux, ils donnent la nuance et l'intensité de coloration de la solution 100 de Forel.

On la recommence de nouveau en formant par un mélange convenable de bleu-diamine et de jaune d'acide picrique, un bain de teinture communiquant à des plaques gélatinées une teinte de nuance et d'intensité telles que, juxtaposées deux par deux,

elles aient exactement la teinte d'une épaisseur de 10 mm de la solution type n° 10 de Forel.

On obtient de même des petits rectangles gélatinés ayant à deux la nuance des solutions types 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 et 90 de Forel.

Ces petits rectangles sont juxtaposés deux à deux, gélatine contre gélatine, collés sur les bords avec un ciment composé de blanc d'Espagne mélangé à une solution épaisse de gomme arabique, bordés comme un diapositif photographique avec une bande étroite de papier dont la couleur varie avec la série. Pour terminer, on grave au diamant sur chacun, son numéro d'ordre accompagné de la lettre de série, par exemple 70 F.

Dans le but de servir à la graduation de la lunette colorimètre à prismes dont il sera question bientôt, on a, dans cette série centésimale F, fabriqué en procédant toujours de la même manière, un double verre gélatiné donnant le 50 centésimal avec une intensité double, c'est-à-dire correspondant à la solution type Forel au 1/100e, et un second avec une intensité moitié plus faible, c'est-à-dire correspondant à la solution type Forel au 1/400e; l'un et l'autre sous l'épaisseur de 10 mm.

Série M. — Pour étudier plus particulièrement les colorations bleues de la mer et de certains lacs, Forel a imaginé de former une série de onze numéros de l'échelle centésimale, choisis de la façon suivante :

I	0	centésim.	VII	20 + 7 = 27	centésim.
II	2	—	VIII	27 + 8 = 35	—
III	2 + 3 = 5	—	IX	35 + 9 = 43	—
IV	5 + 4 = 9	—	X	43 + 10 = 53	—
V	9 + 5 = 14	—	XI	54 + 11 = 65	—
VI	14 + 6 = 20	—			

On teindra les verres gélatinés de cette série absolument comme il a été dit précédemment et on les numérotera de I.M à XI.M.

Série U. — Le Dr Ule, de Halle[1], dans le but d'apprécier la nuance des lacs à eaux brunâtres plus ou moins tourbeuses, a modifié la gamme de Forel en y ajoutant une solution brune de sulfate de cobalt au 1/200e dans une eau fortement ammoniacale. Il prend comme base la solution verdâtre n° XI de la série M et il obtient les numéros I.U à XI.U

	I.U	II.U	III.U	IV.U	V.U	VI.U	VII.U	VIII.U	IX.U	X.U	XI.U
sol. verte....	100	98	95	91	86	80	73	65	56	46	35
sol. brune ...	0	2	5	9	14	20	27	35	44	54	65

[1] Forel. *Loc. cit.* II, p. 469; Ule, *Die Bestimmung der Wasserfarbe in den Seen*, Petermann's Mitteil. 1892, p. 70 et Petermann's Mitteil. 1894, p. 213.

On teindra comme précédemment des verres gélatinés en employant, pour constituer les bains de teinture, un mélange de solution de bleu diamine, de solution d'acide picrique et enfin de solution de brun à l'acide n° 90 R, désigné sous le nom de Echtbraun G ou Säurebraun [1] et qui est un sel de sodium de l'acide sulfanilique diazoté combiné à l'α naphtol (2 molécules d'acide et 1 molécule de α naphtol). On compare au colorimètre Dubosc les nuances des verres gélatinés avec les solutions types de Ule à l'épaisseur de 10 mm et, pour rendre la teinte absolument identique, on ajoute avec précaution aux bains, quand il est nécessaire, quelques gouttes d'encre de Chine.

Echelle de tonalité. — Il peut être utile de modifier le ton d'une nuance, de l'élever, c'est-à-dire de l'assombrir. Dans cette intention, j'ai construit une échelle de verres gélatinés sombres, dite série T, en opérant de la façon suivante.

La liqueur type est une solution d'encre de Chine dans l'eau d'une opacité telle que, placée dans la lunette qui a servi à mesurer la transparence d'eau tenant de l'argile en suspension [2], sous une épaisseur de 10 mm, elle éteigne complètement la lumière d'une bougie placée à 1 mètre de distance. La mesure s'effectue facilement et l'expérience montre que l'accord est complet entre deux observateurs différents. Pour supprimer la nuance un peu jaune que présente cette solution examinée en faible épaisseur, on y ajoute une trace infiniment petite de couleur bleu de Prusse à l'aquarelle. On prend 1 cmcb de cette liqueur, on mélange à 99 cmcb d'eau et la nouvelle liqueur, sous une épaisseur de 10 mm, constitue l'unité de tonalité.

Pour reproduire cette unité sur verre gélatiné, on impressionne au magnésium une plaque au gélatino-chlorure. Afin d'avoir une teinte franchement noire au lieu d'une teinte brune ou violacée, on recouvre la plaque d'un verre dépoli et on l'impressionne très peu en la laissant à une distance de 1m ou 1.50 m de la source lumineuse qui est une longueur de 1 cm de ruban de magnésium qu'on enflamme. Il en résulte que le développement ultérieur s'effectue avec une grande lenteur. Il est fait d'ailleurs à la manière habituelle au bain d'hydroquinone et d'iconogène [3]. On fixe à l'hyposulfite, on lave et on fait sécher. Puis on essaie au colorimètre en employant toujours deux verres afin d'obvier aux irrégularités qui pourraient se présenter mais qu'un peu de soin et d'habitude permettent très aisément d'éviter.

[1] Ce colorant est fabriqué par Chemische Fabriken vorn Weiler-ter-Meer, Aerdingen am Rhein. J'ai été guidé dans le choix des diverses matières colorantes que j'ai employées par les obligeants conseils de mon collègue et ami, M. Guyot, chargé du cours de teinture et impression à la Faculté des Sciences de l'Université de Nancy.

[2] Voy. précédemment p. 116-117.

[3] Le révélateur adopté est le suivant. Faire dissoudre à chaud dans 3 litres d'eau distillée,

200 g sulfite de soude,
15 » hydroquinone,
50 » iconogène.

On fait dissoudre à froid dans 1 litre d'eau ordinaire 150 g de carbonate de potasse.

Au moment d'opérer, on prend 1 partie de carbonate et 3 parties de révélateur, on étend d'eau à moitié et l'on ajoute quelques gouttes d'une solution de bromure de potassium au 1/10e.

Il est prudent de forcer légèrement la teinte des verres parce qu'il est facile, après essai au colorimètre, de l'affaiblir en passant dans un bain formé par une solution d'hyposulfite de soude à laquelle on a ajouté quelques gouttes d'une solution saturée de ferricyanure de potassium. Un ou deux essais permettent d'atteindre exactement la teinte voulue.

En mélangeant successivement 2, 4, 6... 20, 30, 40 cmcb de la solution type noire avec 98, 96, 94... 80, 70, 60 cmcb d'eau, on obtient, toujours sous l'épaisseur de 10 mm, les liqueurs types des degrés de tonalité marqués 2, 4, 6... 20, 30, 40 T. On se procure les verres gélatinés colorés conformes, en procédant comme précédemment. Il y aura avantage à commencer cette fabrication par les numéros élevés parce que, dans le cas où une plaque aurait été trop baissée, elle servirait immédiatement ou, en cas de besoin, après une nouvelle baisse, à constituer un numéro inférieur.

L'instrument à l'aide duquel on utilise ces verres est des plus simples. Il consiste en un tube de laiton long de 11 cm avec un diamètre de 30 mm. L'une des extrémités est fermée par une lame métallique soudée et portant en son centre une ouverture circulaire de 4 mm de diamètre servant d'œilleton. La lame métallique fermant l'autre extrémité est percée d'une ouverture rectangulaire de 7×15 mm. En avant de cette dernière est soudé un petit chassis métallique à double glissière dont chacune peut contenir deux verres gélatinés. Une sorte de couvercle, lorsque les verres sont introduits, les empêcherait de tomber si l'instrument était retourné par inadvertance.

Pour mesurer la coloration d'une eau de mer ou d'une eau douce, on immerge le miroir à 45° et on compare la teinte aperçue avec celle d'un numéro de la série M ou de la série U, introduit dans le chassis et observé sur un fond blanc tel qu'une serviette ou une assiette suspendue à distance. Dans certaines circonstances où l'on pourrait avoir intérêt à assourdir la nuance, on obtiendrait une meilleure imitation de la couleur de l'eau en plaçant en avant du verre coloré choisi, un verre de la série T, d'un faible numéro.

Je me suis servi de la série T pour évaluer l'intensité d'une source lumineuse, celle du soleil ou, tout simplement pour mesurer la luminosité du ciel. Il suffit d'éteindre la source de lumière au moyen d'un ou plusieurs numéros de la série. On note la luminosité du ciel en le regardant directement et en interposant des verres jusqu'au moment où la fente rectangulaire cesse d'apparaître. Ou bien encore, dans ce dernier cas, on visera un disque blanc de 30 cm de diamètre portant à 10 cm de son centre un cercle noir ayant 5 cm de diamètre. On interpose des verres jusqu'à ce qu'il devienne impossible de distinguer le rond noir. Pour éviter toute auto-suggestion, le disque est percé en son centre d'un petit trou à travers lequel passe un clou. On fixe verticalement le disque et, au moment de la visée, on le fait tourner de manière à ignorer à quel endroit se trouve le rond noir à éteindre. Cependant pour l'évaluation de la luminosité générale, je préfère viser le ciel et rendre invisible la fente du tube colorimétrique par interposition de verres de la série T.

Le 27 janvier 1905, par un beau temps clair, à 2 heures de l'après-midi, le soleil a été éteint au n° 86 de l'échelle et, une demi-heure après, par deux autres personnes, l'une au n° 81 et l'autre au n° 80. Le même jour, la luminosité générale du ciel a varié de 60 à 8 heures du matin, à 16 à 5 heures du soir et celle du point noir sur le disque blanc, de 38 à 7.

J'ai cherché à établir un instrument plus délicat et plus précis que le tube colorimétrique pour apprécier la couleur des eaux océaniques. Il consiste essentiellement en deux prismes de verre taillés en coin, colorés l'un en bleu, l'autre en jaune et glissant l'un devant l'autre mais indépendant l'un de l'autre, en avant d'une fente verticale, et dont on évalue l'épaisseur respective dans le plan passant par cette fente perpendiculairement au plan des prismes. Comme on est ainsi en état de placer devant la fente n'importe quelle proportion de bleu, depuis 0, sur l'arête du coin, jusqu'à la teinte de l'épaisseur maximum de ce coin et de la combiner de la même façon avec n'importe quelle proportion de jaune, les diverses teintes de l'eau sont identifiées avec précision grâce au mouvement indépendant des prismes.

La lunette colorimétrique se compose d'une boîte parallélipipédique percée à sa partie supérieure d'une fenêtre carrée de 10 mm de côté à travers laquelle passe un fil métallique fin, bien tendu d'avant en arrière et servant de repère. A la partie postérieure est une fente rectangulaire verticale de 1×11 mm. Les prismes jaune et bleu sont respectivement enchassés dans une monture en cuivre dont la tranche supérieure porte une graduation en millimètres et demi-millimètres tandis que la tranche inférieure est munie d'une crémaillère commandée par un pignon. En tournant les boutons de ces pignons, on fait donc glisser à volonté devant la fente verticale, de droite à gauche aussi bien que de gauche à droite, l'un et l'autre des prismes. Quand on a obtenu la teinte convenable, on lit le déplacement de chacun d'eux à travers la fenêtre supérieure, tel qu'il est indiqué par les divisions millimétriques coïncidant avec le fil repère. Une lunette à œilleton munie d'une lentille facile à enfoncer plus ou moins, permet de mettre au point la fente verticale afin de l'apercevoir nettement et même de lui donner un certain grossissement. Du reste, si l'on y trouve avantage, on peut supprimer la bouteille et observer simplement à travers l'œilleton.

La construction de cette lunette colorimétrique à prismes n'a pas laissé que de présenter certaines difficultés. La première est relative à la nuance des prismes. Il convient en effet, pour se raccorder avec la gamme de Forel, que le verre bleu et le verre jaune possèdent respectivement la teinte de l'eau cupro-ammoniacale et celle de la solution de chromate de potasse. Le verre bleu coloré au cobalt répond très sensiblement à la condition et, quant au verre jaune, on a pu m'en fabriquer spécialement aux verreries et cristalleries de Saint-Denis, grâce à l'obligeance du Directeur, M. Legras.

La seconde difficulté est relative à l'épaisseur maximum à donner aux prismes, la plus faible étant évidemment égale à zéro à cause de leur forme en coin.

Il importe de rappeler ici, qu'en réalité, sous des épaisseurs différentes, il n'est point de liquide coloré qui ne soit polychroïque par transparence à cause de l'absorption des divers rayons colorés qu'il exerce sur la lumière blanche le traversant. Cette absorption varie avec la longueur d'onde des rayons, c'est-à-dire avec leur couleur, avec l'épaisseur du liquide et avec sa nature. Nul exemple n'est plus caractéristique que celui d'une solution de bichromate de potasse dans l'eau. Très étendue, elle est d'un beau jaune tandis qu'elle prend une coloration de plus en plus rouge à mesure qu'elle est plus chargée de sel. Les solutions types cupro-ammoniacale et de chromate de potasse de Forel n'échappent pas à cette règle.

Dans la lunette colorimétrique à prismes on ne devra donc pas s'attendre à ce que la combinaison d'épaisseurs 1 de bleu et 1 de jaune, par exemple, donne, à l'intensité près, la même nuance que la combinaison d'épaisseurs 2 de bleu et 2 de jaune. Il a, par conséquent, été indispensable de fixer empiriquement l'épaisseur maximum de chaque prisme.

La longueur des prismes, avait été établie arbitrairement, pour la commodité générale de l'instrument, à 68 mm et leur largeur à 25 mm. L'épaisseur maximum à donner à chacun d'eux dépendait évidemment de l'intensité de la coloration bleue ou jaune du verre ayant servi à les confectionner. Je suis parti de ce principe que, les deux prismes étant exactement superposés, le milieu de leur longueur, c'est-à-dire $\frac{68}{2} = 34$ mm, devait autant que possible, fournir la teinte correspondante à la note 50 de la gamme de Forel.

Ceux de mon instrument ont été taillés avec des épaisseurs maximum de 1.80 mm pour le bleu et de 1 .40 mm pour le jaune. Ces valeurs ont été établies par comparaison effectuée au colorimètre Dubosc disposé horizontalement, avec la teinte d'une solution type 50 de Forel contenue dans l'auge d'épaisseur de 10 mm. On peut encore se servir, pour la graduation de la lunette et son étalonnage, des verres de la série F et particulièrement du 50 F. Un moyen très simple consiste à insérer le 50 F dans le tube colorimétrique et à regarder en même temps sur un fond blanc, avec l'œil gauche dans le tube, avec l'œil droit dans la lunette, en égalisant les deux teintes aperçues par un déplacement convenable des prismes. La même méthode avec remplacement dans le tube du 50 F par d'autres numéros de la même série, permettra d'étalonner les prismes.

Sur la lunette dont je me sers, les prismes ayant les épaisseurs maximum indiquées ci-dessus, j'obtiens la nuance normale 50 F avec la longueur, marquée sur l'échelle, de 41.5 mm pour le prisme bleu et de 26.5 mm pour le prisme jaune.

L'étalonnage s'exécute en comparant à des nuances centésimales Forel données soit par des solutions versées dans la cuve, soit par des verres de la série F, les nuances obtenues dans la lunette au moyen de combinaisons des prismes. On procède de la manière suivante.

On commence par amener le prisme bleu à la division 41.5 et le prisme jaune à

la division 26.5. En regardant à travers la lunette, on observe alors la nuance 50 F. Si l'on veut alors obtenir la teinte 40, par exemple, qui est plus bleue, on laisse immobile le prisme bleu et l'on diminue lentement l'épaisseur du prisme jaune qui, au moment où la teinte est 40 F, correspond à la longueur 23 de la graduation. De même pour les valeurs 30 F, 20 F, 10 F, le prisme bleu restant toujours immobile, le prisme jaune marquera les longueurs 18.5, 15 et 9.5 mm. La nuance 0 F sera évidemment donnée par le prisme jaune à 0.

De même si les nuances types sont au-dessus de 50 F, c'est-à-dire dans les jaunes, on laissera le prisme jaune immobile à la longueur 26.5 et l'on diminuera la proportion de bleu en faisant mouvoir le prisme bleu de telle sorte qu'il accuse successivement les longueurs 28.5, 19.0, 9.5 et 0 pour les numéros 60, 70, 80 et 100.

Sur du papier quadrillé, on compte en ordonnées, sur l'axe vertical des y et avec l'échelle, c'est-à-dire l'approximation qu'on jugera convenable, les degrés centésimaux de la gamme de Forel. Sur mon graphique, chaque degré, de 0 à 100, est de 2 mm. Les abscisses, en axe horizontal des x, représenteront les divisions en millimètres et demi-millimètres des graduations marquées sur la longueur des prismes. Sur cet axe des x, à l'abscisse 41.5, on trace une ordonnée bleue ayant 50 de hauteur, puis à partir de 50 et jusqu'à 100 Forel, suivant l'abscisse 26.5, une autre verticale correspondant au jaune. On note alors les longueurs respectives trouvées précédemment dans chaque cas, ainsi que l'indique la fig. 2, Pl. IX, et en y comprenant le point 0 et le point 100, on trace les deux lignes moitié droites et moitié courbes correspondant au bleu et au jaune.

A la mer on opèrera de la façon suivante :

La teinte de l'eau étant donnée par l'immersion et l'orientation convenable d'un miroir à 45°, avec la lunette, on met d'abord en face du fil tendu à travers la fenêtre supérieure, la division 26.5 du prisme jaune et la division 41.5 du prisme bleu. On compare avec la teinte de l'eau qui est ou plus jaune — et l'on est ainsi averti que sa notation dans l'échelle de Forel sera au-dessus de 50 — ou plus bleue et par conséquent, que sa notation sera au-dessous de 50. Dans le premier cas, on laisse le prisme jaune immobile à 26.5 et, en diminuant lentement l'épaisseur du prisme bleu, on arrive à produire l'identité avec la mer. Dans le second cas, on laisse au contraire le bleu immobile à 41.5 et on produit l'identité en diminuant de plus en plus l'épaisseur du prisme jaune. Aussitôt que l'identité est acquise, d'une manière ou de l'autre, on note la division de la graduation de chaque prisme, au-dessous du fil et on lit la notation centésimale correspondante de Forel, sur l'axe des y du graphique. Si par exemple on a identifié la nuance avec le prisme bleu immobile à 41.5 et le prisme jaune amené à la longueur 14.5, la teinte centésimale Forel sera 18.5.

On voit que la lunette colorimétrique offre le double avantage de la précision et d'une évaluation en échelle centésimale Forel, mais il est évident que chaque instrument doit être spécialement étalonné.

Dans certains cas, on peut avoir avantage à assourdir la nuance. On y parviendra

de deux façons, soit en plaçant devant la fenêtre des verres de la série T soit en tournant plus ou moins un nicol contenu qu'on peut insérer dans le corps de la lunette par rapport à un autre nicol polariseur demeuré fixe. On graduera d'ailleurs le degré d'obscurité obtenu par les nicols à l'aide d'une comparaison avec des verres de la série T. Si on juge les nicols inutiles, rien n'est plus facile que de supprimer le tube qui les contient et de se servir de la lunette comme d'un tube colorimétrique avec ou même sans la loupe oculaire.

En opérant sur deux teintes de mer copiées à l'aquarelle d'après le miroir à 45°, par M. Borrel, peintre du Prince de Monaco, à bord de la *PRINCESSE-ALICE*, l'une le 28 août 1903, par temps couvert, au large de Concarneau, la seconde, le 31 août 1903, par beau temps, à l'embouchure de l'Odet, j'ai reconnu que la première portait la notation 23 et la seconde la notation 57 de l'échelle de Forel.

Les nuances de la mer résultant de l'action d'un nombre infini de variables et étant par conséquent, variées elles-mêmes à l'infini, on ne saurait trouver un instrument les reproduisant toutes et permettant de les noter. Mais avec le miroir à 45°, le tube à verres colorés et surtout avec la lunette colorimétrique à prismes, il est possible d'identifier l'une quelconque d'entre elles et de la noter avec une précision suffisante pour la plupart des problèmes scientifiques et pratiques qu'on se proposerait de résoudre.

Il serait intéressant que des études systématiques fussent entreprises dans cette direction. Comme la couleur de la mer est certainement en relation étroite avec la nature du plankton flottant dans les eaux, il se pourrait qu'une évaluation précise de teinte accompagnée d'une mesure de transparence par la boule blanche, opérations très faciles et très rapides, rendissent de précieux services aux pêcheurs — en particulier aux pêcheurs sardiniers — en leur indiquant immédiatement la présence rare ou abondante du plankton spécial, nourriture du poisson et par conséquent la rareté ou l'abondance probables de ce dernier. Un pareil travail résulterait de la collaboration d'un zoologiste chargé de reconnaître la nature du plankton et d'un océanographe occupé aux déterminations de couleur et de transparence de la mer. Il y a tout lieu de penser que l'emploi des colorimètres et des échelles de tonalité rendrait aussi d'utiles services à la navigation sous-marine.

TABLE

		Pages
I.	Expériences sur la pierre ponce	3-20
II.	Etude préliminaire des gros fonds provenant des diverses campagnes océanographiques de S. A. S. le Prince de Monaco	21-33
III.	Analyse des fonds récoltés pendant la campagne de 1902	34-70
IV.	Tableaux des densités d'eaux de mer prises en 1892-1899 par MM. W. S. Bruce, J. Y. Buchanan et Dr J. Richard	71-80
V.	Analyses d'eaux de mer récoltées à bord de la *PRINCESSE-ALICE* en 1902 et 1903 et considérations générales sur la circulation océanique	81-112
VI.	Etude sur la transparence et la couleur des eaux de mer	113-134

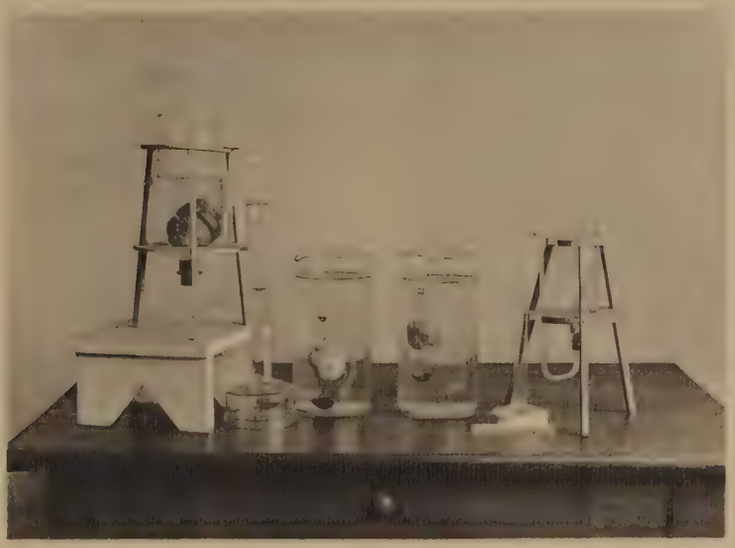


Fig. 1

Fig. 2

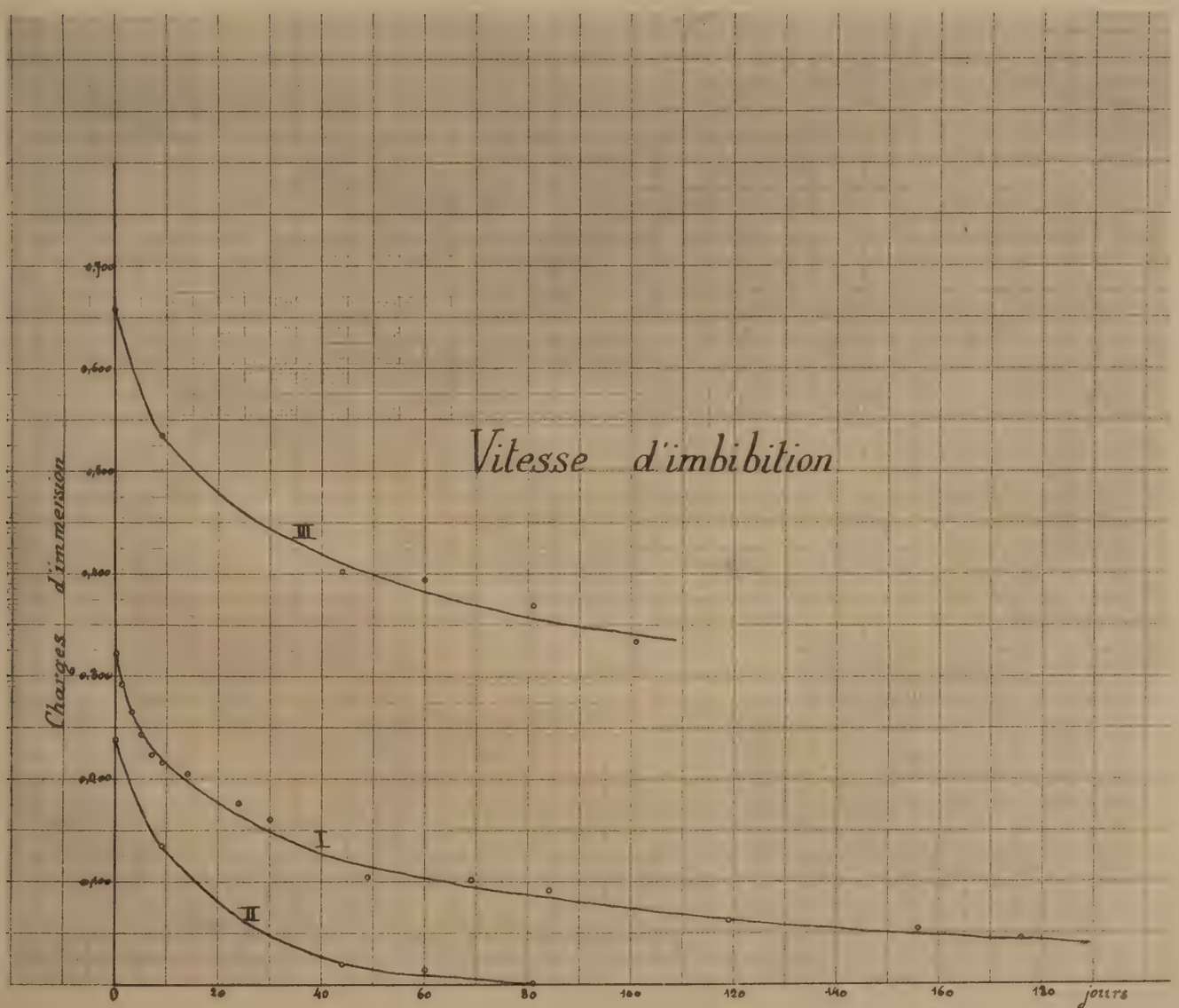


Fig. 1. — Appareils pour les expériences relatives à la flottaison et à la mesure du volume des pierres ponces.
Fig. 2. — Courbe des vitesses d'imbibition des pierres ponces.

Phototypie A. Berger et Cie, Nancy.

LÉGENDE DE LA PLANCHE II

			Pages
Fig.	1.	Vase sableuse très calcaire ponceuse × 125..... (Stn. 1321. Lat. N. 38° 39'; Long. W. 25° 03' 45". Profondeur 3020 m.) A droite en haut : aspect général du fond; à droite en bas : après acide, lumière réfléchie; à gauche : après acide, lumière polarisée.	14-48
—	2.	Vase sableuse très calcaire ponceuse × 125..... (Même station). Résidu après acide.	14
—	3.	Fragments de ponce des Açores (grandeur naturelle)...	11-13
—	4.	Scorie volcanique de La Réunion × 125.	
—	5.	Ponces et obsidiennes naturelles et artificielles × 50... 1, 2, 3. Ponce de Lipari; 4, 5. Obsidienne du Mexique ; 6, 7, 8, 9. Ponce et obsidienne artificielles (ponce calcinée à une forte chaleur avec vapeur d'eau); 10, 11. Ponce obsidienne de Saint-Vincent; 12. Ponce étonnée dans l'eau; 13. Cendre de Saint-Vincent, obsidienne ferrique ; 14. Cendre de Saint-Vincent. Polarise, péridot cristallinique, obsidienne ferrreuse.	15-16

1-2 VASES. 3 PONCES. 4 SCORIE VOLCANIQUE. 5 PONCES ET OBSIDIENNES.

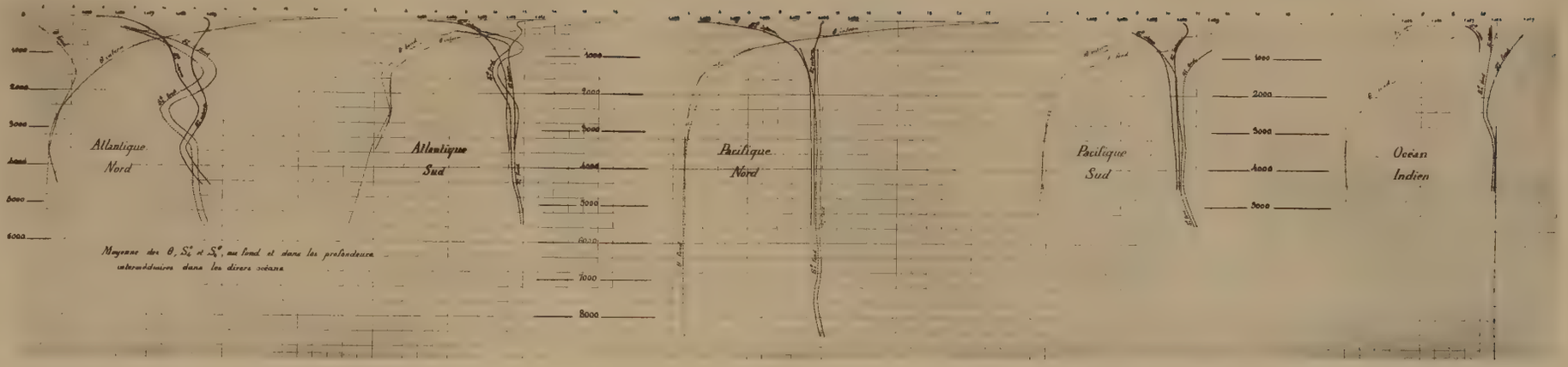


Fig. 1

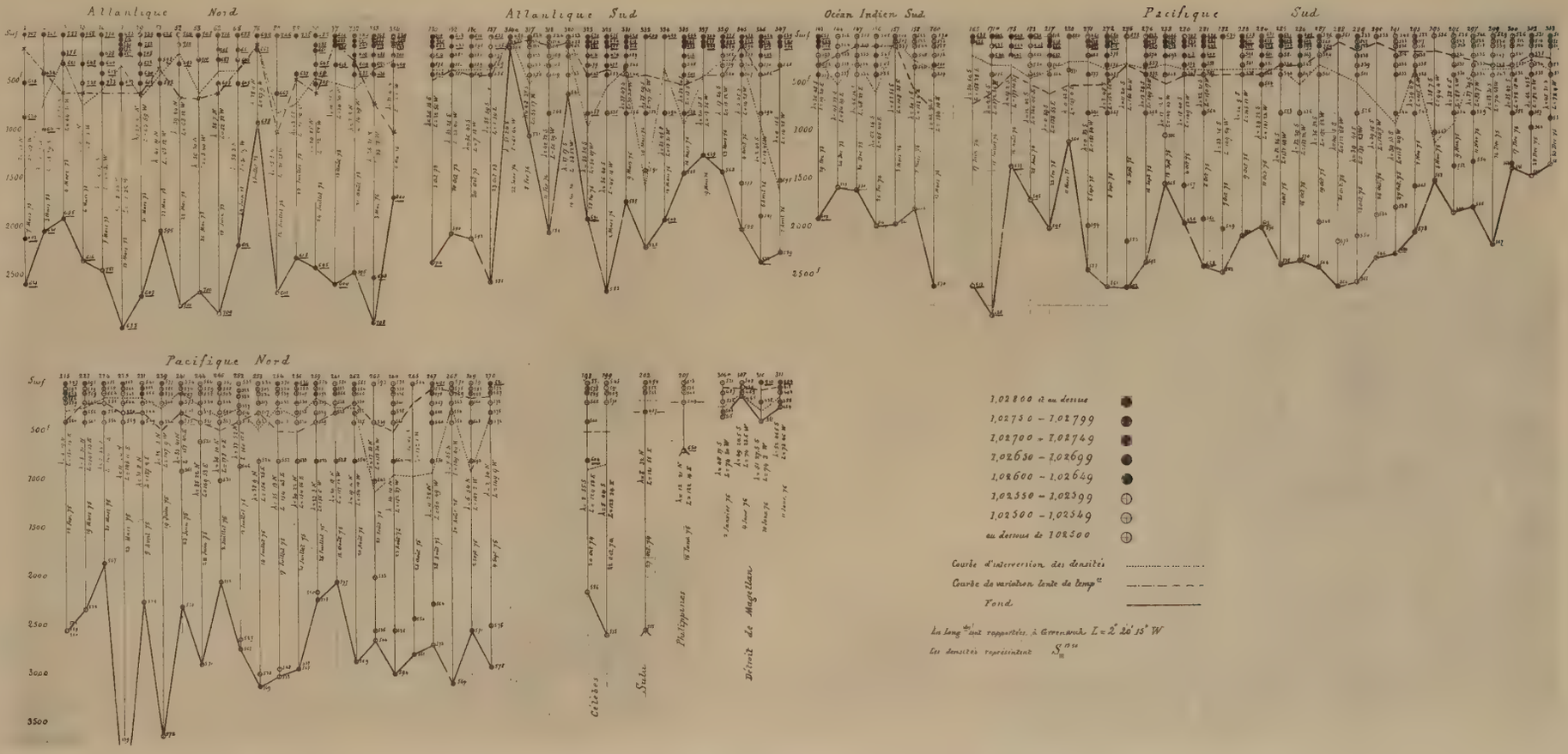


Fig. 2

Fig. 1. — Moyenne des θ, S°_{4} et S^{θ}_{4} au fond et aux profondeurs intermédiaires dans les divers océans.
Fig. 2. — Répartition en profondeur des densités $S^{15,56}_{4}$ dans chacun des principaux océans.

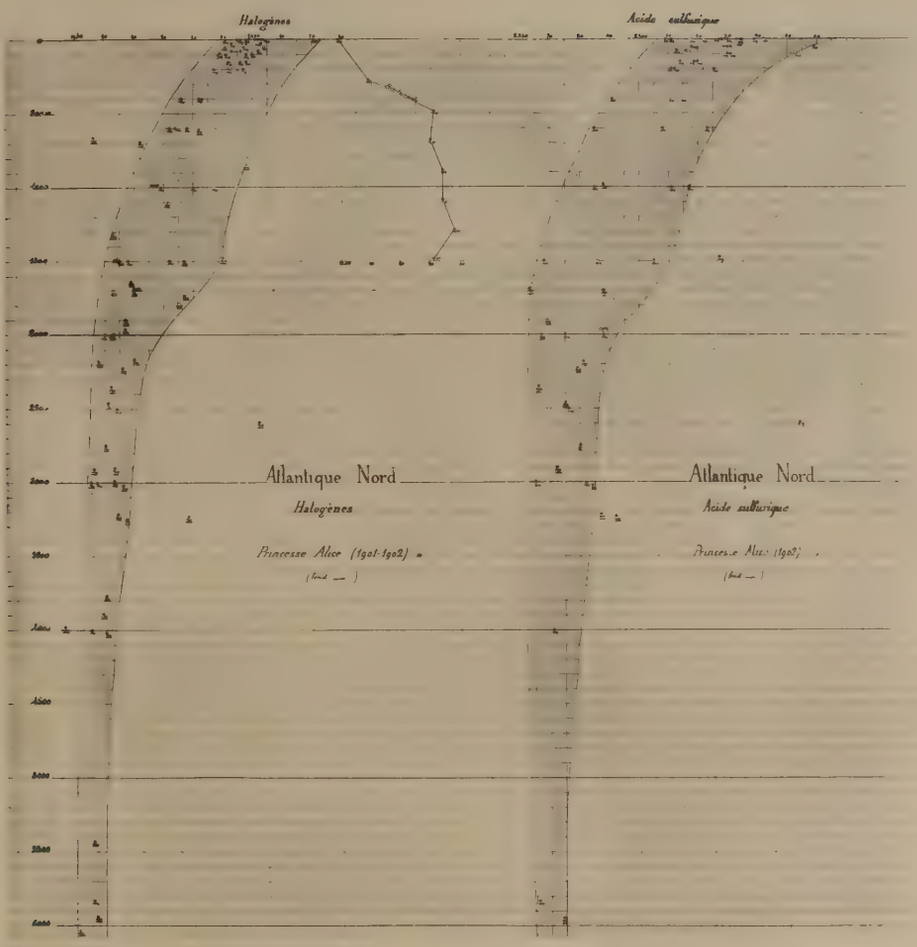


Fig. 1

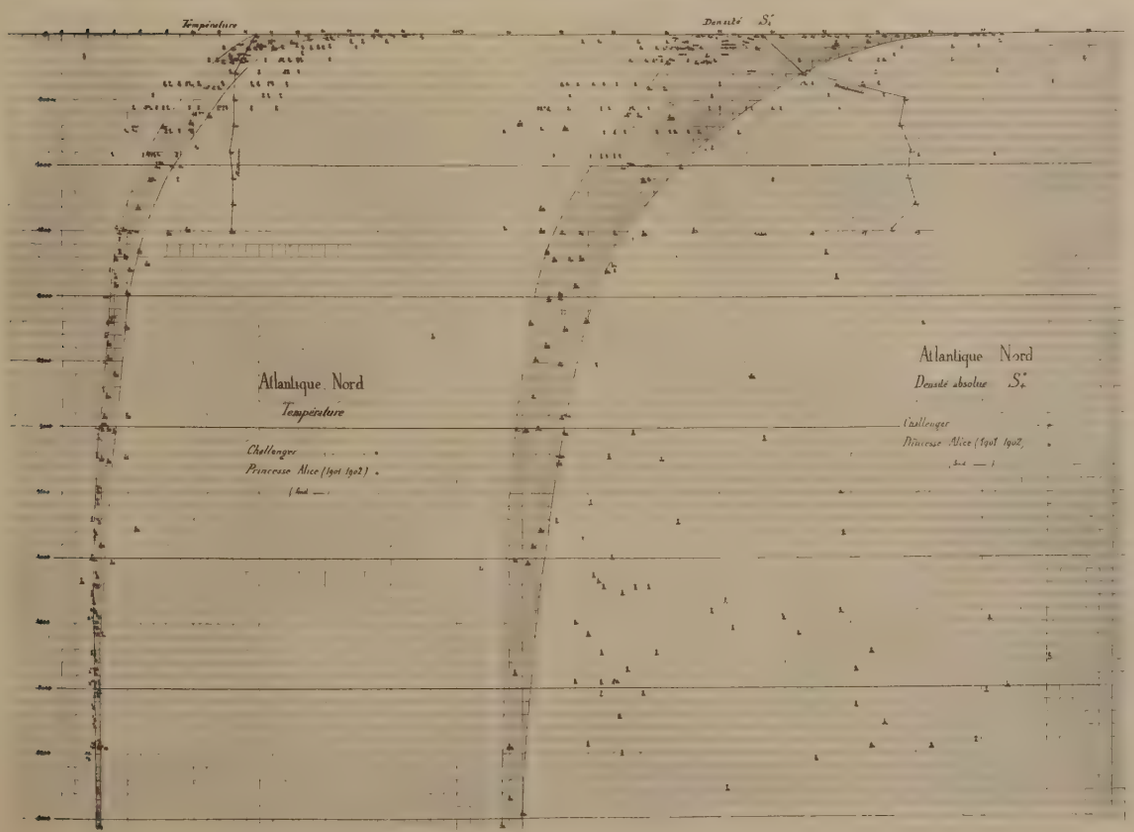
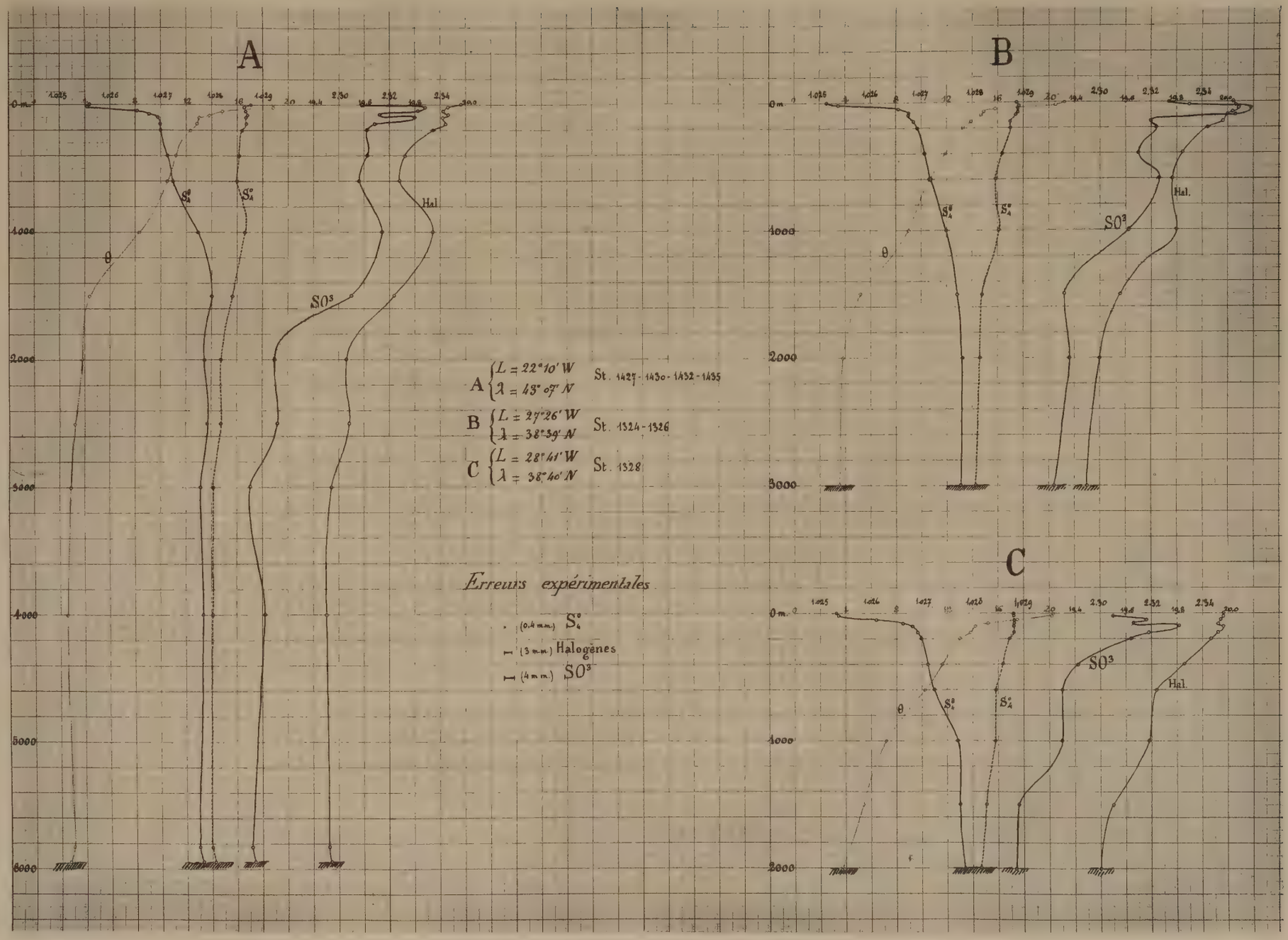
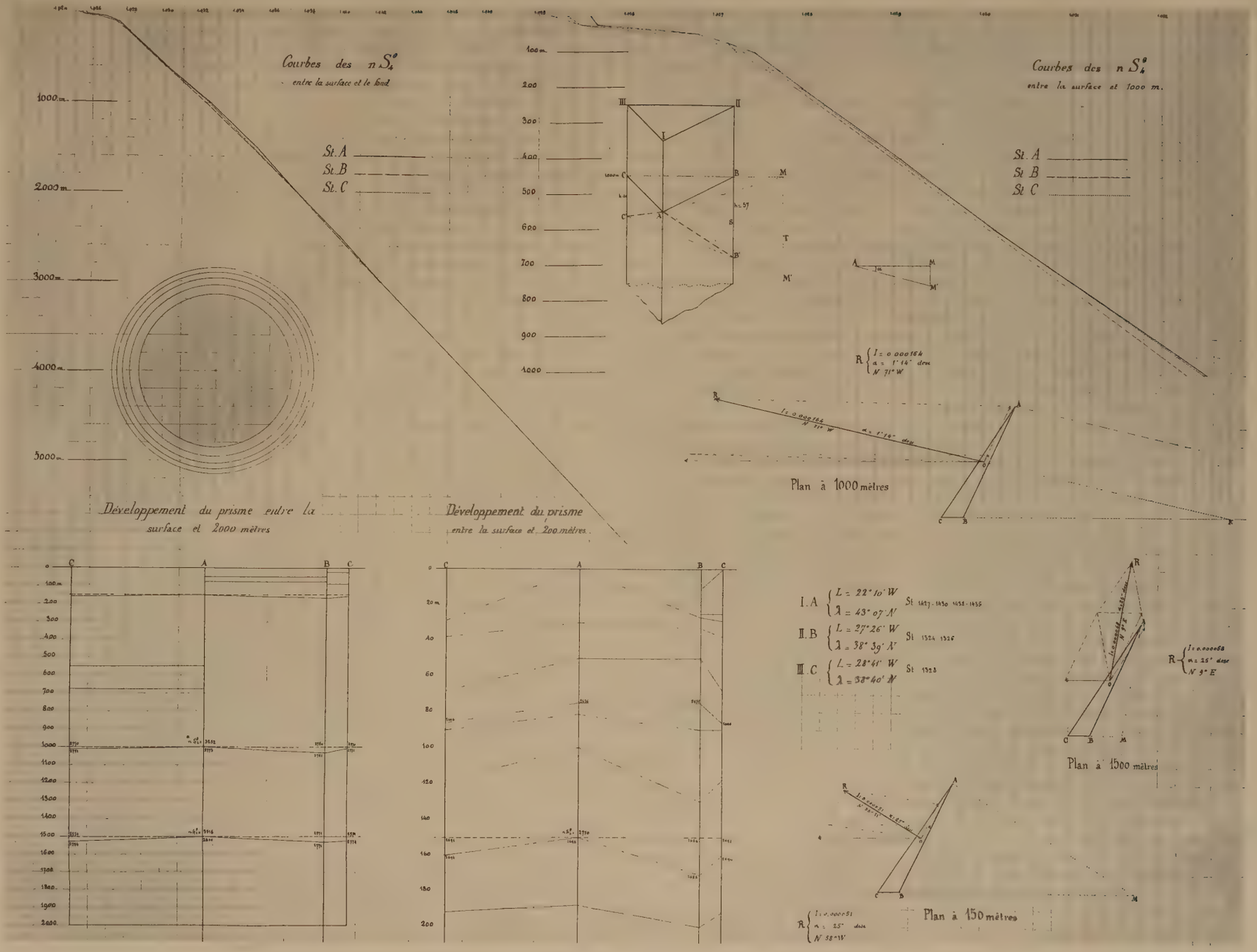


Fig. 2

Fig. 1. — Halogènes et acide sulfurique dans l'Atlantique Nord.
Fig. 2. — Température *in situ* θ et densité absolue S_t^o dans l'Atlantique Nord.



θ, S_4°, S^0, Halogènes et SO^3 en chacune des trois stations A. B. C.



Mesure des courants sous-marins

PHOTOTYPIE A. BERGERET & Cie, NANCY.

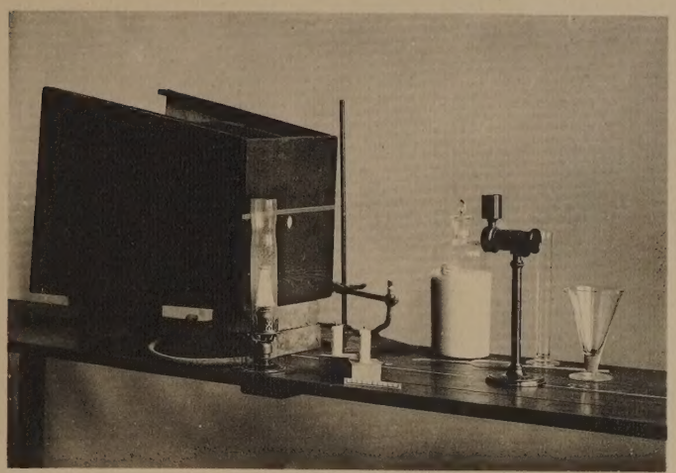


Fig. 1

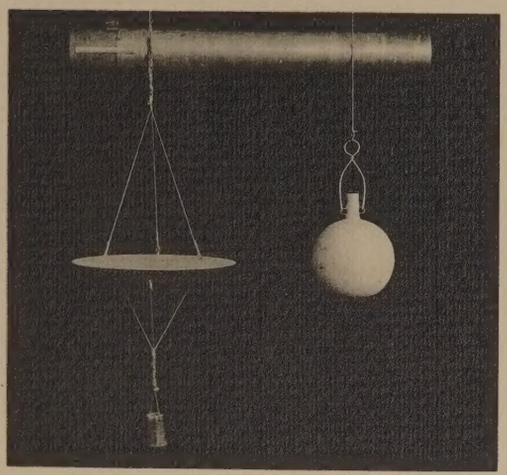


Fig. 2

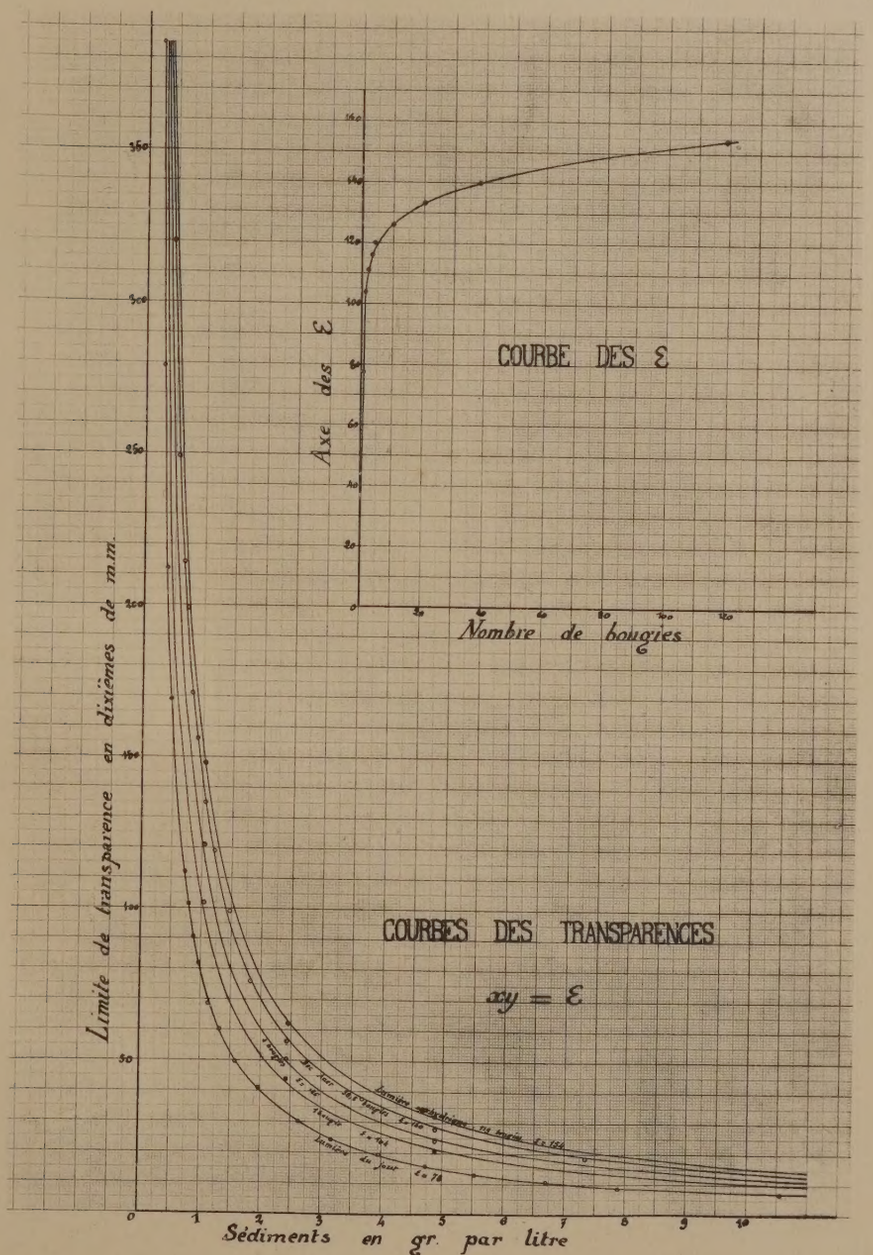


Fig. 3

Fig. 1. — Mesure de la transparence d'un liquide. — Fig. 2. - Instruments servant à mesurer la transparence de la mer.

Fig. 3. — Courbes des transparences.

Phototypie A. Berberet & Cie, Nancy.

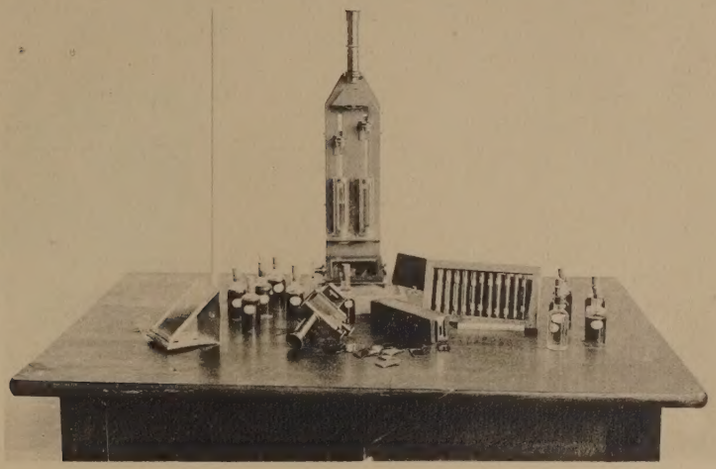


Fig. 1

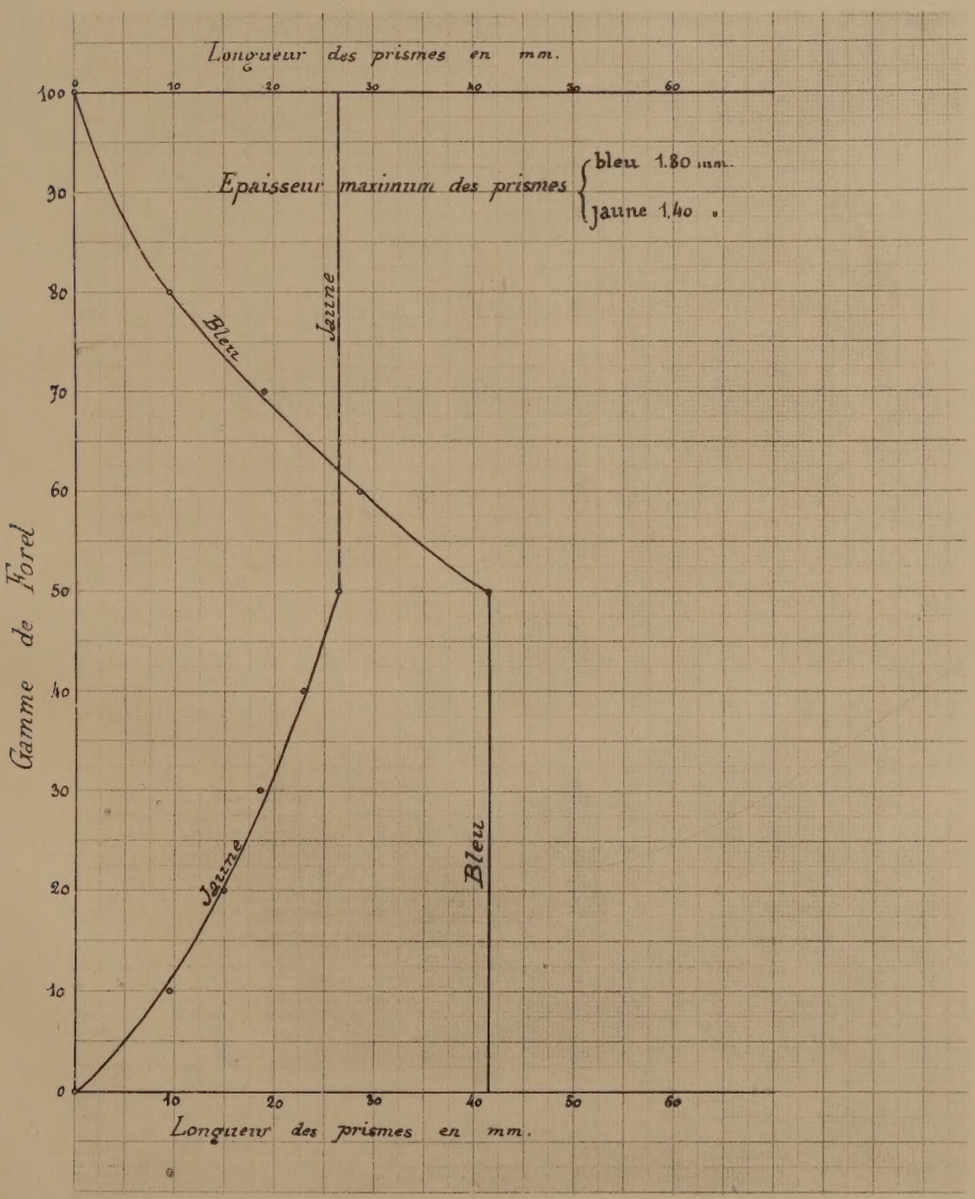


Fig. 2

Fig. 1. — Instruments servant à évaluer la coloration de l'eau de mer.
Fig. 2. — Courbe d'étalonnage d'une lunette colorimétrique à prismes.

Phototypie A. Berger et Cie, Nancy.